

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Sistema de baterías para reducción de la
potencia consumida en viviendas domésticas:
análisis y dimensionado óptimo



Grado en Ingeniería
en Tecnologías Industriales

Trabajo Fin de Grado

Oihane Bayo Lizarraga

Pablo Sanchis Gúrpide

Julio María Pascual Miqueleiz

Pamplona, 27 de Junio de 2014

RESUMEN

En este trabajo fin de grado se analiza un sistema de baterías conectado a una vivienda mediante un convertidor electrónico con el objeto de que el sistema suministre los picos de potencia que se demanda en la vivienda y así reducir la potencia contratada con la compañía eléctrica.

Se han analizado todos los elementos necesarios para que el sistema funcione, y su situación actual en el mercado, con el fin de realizar un dimensionado óptimo del sistema. Para el dimensionado del sistema de baterías se ha tomado como referencia los datos de consumo eléctrico anual de una vivienda y se ha simulado el comportamiento que tendrían en distintos escenarios.

El análisis y la simulación proporcionan precios de todos los componentes adicionales del sistema. Comparando el precio final del sistema con respecto al ahorro económico que supone bajar la potencia contratada se concluye si existiría ahorro económico en el caso de que se implantara.

ABSTRACT

The aim of this final paper is to analyze a battery system connected by an electronic converter to a standard house, so that the system supplies power peaks that are demanded by a house and thus reduce the power contracted to the power company.

All the elements needed by the system have been analyzed in order to find the actual situation in the world market and the optimum size of all of them. The optimum sizing of the battery system has been done based on the behavior of the system and the annual power consumption demanded by the house.

On the other hand, the analysis provides the price of the batteries, inverter and all the other elements required by the system to work. Comparing the final price of the system with the electric rate saving for reducing the power contracted, it can be said whether or not it will be economic saving.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	1
2. Factura eléctrica	3
2.1 Datos de suministro/instalación.....	3
2.1.1 Potencia contratada.....	3
2.1.2 Tarifa de acceso	4
2.1.3 Cuantía peaje.....	7
2.1.4 Identificación punto de suministro (Código CUPS)	7
2.1.5 CNAE	8
2.1.6 N° de contrato	8
2.1.7 Periodo de facturación.....	8
2.2 Datos de consumo	8
2.2.1 Término fijo de potencia.....	8
2.2.2 Término de energía consumida.....	8
2.2.3 Impuesto sobre la electricidad	8
2.2.4 Alquiler de equipos de medida	9
2.2.5 IVA.....	9
3. Descripción de los diferentes sistemas	11
3.1 Sistema inicial	11
3.1.1 Análisis anual	11
3.1.2 Análisis semanal	13
3.2 Sistema propuesto	17
3.2.1 Sistemas de almacenamiento. Baterías electroquímicas	18
3.2.3 Convertidor electrónico: Inversor	27
3.2.3 Sensores de corriente	32
3.2.4 Contador	35
4. Estrategias	37
4.1 Introducción	37
4.2 Estrategia inicial.....	38
4.2.1 Condiciones previas	38
4.2.2 Cálculo del tamaño de las baterías.....	40
4.2.3 Características de funcionamiento del sistema de baterías	43
4.2.4 Cálculo de los costes anuales de los elementos del sistema propuesto	48

4.2.5 Coste de la factura eléctrica.....	51
4.2.6 Cálculo final del ahorro económico.....	53
4.3 Desplazamiento de cargas.....	54
4.3.1 Condiciones previas	54
4.2.3 Características de funcionamiento del sistema de baterías	56
4.3.3 Cálculo de los costes anuales de los elementos del sistema propuesto	59
4.3.4 Coste de la factura eléctrica.....	60
4.3.5 Cálculo final del ahorro económico.....	61
5. Conclusiones	63
6. Referencias	67
7. Anexos	71
7.1 Estrategia inicial análisis anual	71
7.2 Estrategia inicial análisis diario (Día 1).....	74
7.3 Segunda estrategia: Desplazamiento de cargas.....	76
7.4 Cálculo de la factura eléctrica	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Potencias normalizadas	3
Tabla 2: Tarifa PVPC 2.0A	5
Tabla 3: Tarifa PVPC 2.0DHA	5
Tabla 4: Tarifa PVPC 2.0DHS	6
Tabla 5: Precios mercado libre tarifa 2.0A	7
Tabla 6: Precios mercado libre tarifa 2.0DHA	7
Tabla 7: Comparativa de las principales características de los principales tipos de baterías	22
Tabla 8: Características de las baterías Victron Energy	24
Tabla 9: Características de las baterías Fiamm	26
Tabla 10: Características inversores monofásicos INGECON® SUN LITE TL	31
Tabla 11: Precios de los inversores INGECON® SUN LITE TL	31
Tabla 12: Comparativa entre dos sensores de corriente	34
Tabla 13: Ahorro económico con tarifa DH	38
Tabla 14: Dimensionado de batería por potencia y energía	42
Tabla 15: Tamaños de baterías obtenidos en el análisis anual	42
Tabla 16: Datos de capacidad de baterías Fiamm FG	44
Tabla 17: Ciclos equivalentes batería de potencia contratada 1,15kW	49
Tabla 18: Características baterías seleccionadas	50
Tabla 19: Características convertidores seleccionados	51
Tabla 20: Factura eléctrica de la vivienda	51
Tabla 21: Consumo energético	51

Tabla 22: Factura eléctrica de la vivienda con sistema de baterías _____	52
Tabla 23: Ahorro económico al bajar la potencia contratada _____	52
Tabla 24: Ahorro económico anual caso peor _____	53
Tabla 25: Ahorro económico anual caso mejor _____	53
Tabla 26: Energías desplazables _____	57
Tabla 27: Consumo energético con desplazamiento de cargas _____	57
Tabla 28: Ciclos equivalentes batería de potencia contratada 1,15 kW _____	59
Tabla 29: Características baterías seleccionadas _____	60
Tabla 30: Características convertidores seleccionados _____	60
Tabla 31: Ahorro económico al bajar la potencia contratada con desplazamiento de cargas _	61
Tabla 32: Ahorro económico anual con desplazamiento de cargas _____	61
Tabla 33: Ahorro económico anual con desplazamiento de cargas _____	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución del coste anual de la electricidad para un consumidor doméstico	1
Figura 2: Horas valle y punta para cada época del año (2 periodos)	5
Figura 3: Horas valle, supervalle y punta para cada época del año (3 periodos)	6
Figura 4: Sistema inicial	11
Figura 5: Consumo potencia anual vivienda (W)	12
Figura 6: Curva de potencias consumidas medias clasificadas	12
Figura 7: Consumo potencia Día 1	13
Figura 8: Consumo potencia Día 2	14
Figura 9: Consumo potencia Día 3	14
Figura 10: Consumo potencia Día 4	15
Figura 11: Consumo potencia Día 5	15
Figura 12: Consumo potencia Día 6	16
Figura 13: Consumo potencia Día 7	16
Figura 14: Esquema de sistema propuesto	17
Figura 15: Curva número de ciclos vs. profundidad de descarga baterías Victron Energy	25
Figura 16: Curva profundidad de descarga vs numero de ciclos baterías Victron Energy	26
Figura 17: Evolución del precio por Ah según la capacidad de la batería	27
Figura 18: Esquema general de una instalación FV conectada a red	28
Figura 19: Esquema general de una instalación aislada	29
Figura 20: Circuito de un inversor fotovoltaico monofásico	30
Figura 21: Evolución del precio por W según la potencia nominal de AC	32

Figura 22: Características y curva de disparo del ICP	34
Figura 23: Importancia del rendimiento en la descarga de las baterías	39
Figura 24: Potencia contratada de 1,15 kW	40
Figura 25: Potencia contratada de 2,3 kW	41
Figura 26: Potencia contratada de 3,45 kW	41
Figura 27: SOC de la batería que se utiliza si se contrata de potencia 1,15 kW	45
Figura 28: SOC de la batería que se utiliza si se contrata de potencia 2,3 kW	45
Figura 29: SOC de la batería que se utiliza si se contrata de potencia 3,45 kW	45
Figura 30: Histograma de profundidades de descarga para potencia contratada 1,15 kW	46
Figura 31: Histograma de profundidades de descarga para potencia contratada 2,3 kW	47
Figura 32: Histograma de profundidades de descarga para potencia contratada 3,45 kW	47
Figura 33: Distribución de los precios de los elementos del sistema propuesto	54
Figura 34: Sistema propuesto sin control de desplazamiento de cargas	55
Figura 35: Sistema propuesto con control de desplazamiento de cargas	55
Figura 36: Histograma de profundidades de descarga para potencia contratada 2,3 kW	58
Figura 37: Histograma de profundidades de descarga para potencia contratada 3,45 kW	58



1. Introducción

Hoy en día el uso de la energía es indispensable para la mayoría de las actividades desarrolladas por el ser humano. La energía brinda un mundo de comodidades pero al mismo tiempo hace a las personas totalmente dependientes de ella. En este mundo tan cambiante se está viendo como los precios de la energía aumentan constantemente por diversos motivos: conflictos en los países de origen de los combustibles (Oriente Medio, Rusia, Argentina), decisiones políticas (impuestos crecientes), etc.

Actualmente España tiene una dependencia energética exterior superior al 80% y que va en aumento, frente a una media europea que ronda el 54%. La dependencia energética es debida básicamente a la utilización de los combustibles fósiles para la obtención de energía. Este dato de dependencia energética es alarmante ya que los combustibles fósiles escasean y las previsiones indican que los precios de estos seguirán subiendo en los próximos años.

A este problema se le suma la fuerte crisis económica en la que está inmersa España, la cual ha provocado un descenso en el consumo eléctrico en el año 2013 del 2,1%. Este descenso no es un hecho aislado ya que ha ido sucediendo desde el año 2007. Hay que señalar que una parte del descenso en el consumo se debe a las mejoras en la eficiencia energética que se van dando gracias a las mejoras que va introduciendo la tecnología.

Frente a este descenso de consumo se encuentran las constantes subidas que se han producido los últimos años en los precios de las tarifas eléctricas. Además la previsión es que esta tendencia continúe y los precios suban todavía más.

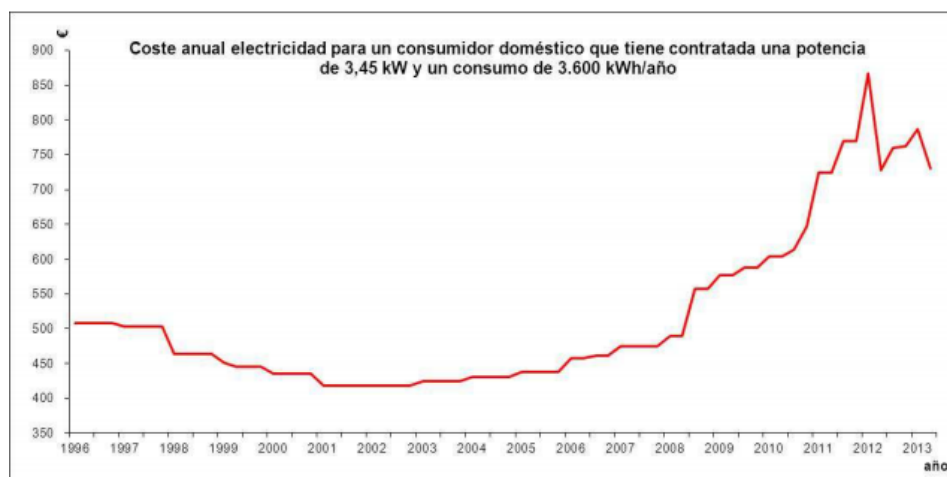


Figura 1: Evolución del coste anual de la electricidad para un consumidor doméstico. [1]



En la Figura 1 se muestra la evolución del coste anual de un consumidor doméstico con una potencia contratada de 3,45 kW. Pese a la ligera bajada que se ve a finales de 2013, hay que señalar que a principios de 2014 se ha producido un nuevo incremento.

Todos estos aspectos llevan a la necesidad de reducir al máximo los gastos en energía eléctrica en todas las áreas posibles, como por ejemplo viviendas o industrias.

Por todos estos motivos, en este trabajo fin de grado se realiza un análisis de un sistema de baterías conectado mediante convertidor electrónico a una vivienda, con objeto de que el sistema suministre los picos de potencia que se demanda en la vivienda y así reducir la potencia contratada con la compañía eléctrica. Para ello se realiza un análisis energético y económico en función del precio de las baterías, convertidor y de la tarifa eléctrica. Se realizará un dimensionado óptimo del sistema para la determinación del posible ahorro económico en el caso de que el sistema se implantara.

2. Factura eléctrica

La factura eléctrica o recibo de la luz se puede dividir en dos partes; en una figuran los datos de suministro/instalación y en la otra los datos de consumo de cada consumidor [2].

2.1 Datos de suministro/instalación

En esta parte se proporcionan datos de información general que hacen referencia a las condiciones del contrato de cada usuario. Estos datos son:

2.1.1 Potencia contratada

La potencia contratada es la potencia máxima que cada instalación puede absorber de la red por contrato con el distribuidor. La potencia que debe contratar cada usuario depende del uso que haga de sus aparatos eléctricos.

En la Tabla 1 se muestran las potencias normalizadas que se pueden contratar en la actualidad. Hay que señalar que se encuentran marcadas en rosa las potencias que tienen derecho a la tarifa PVPC (Precio Voluntario al pequeño consumidor) que se explicará en apartados posteriores.

Intensidad [A]	POTENCIAS NORMALIZADAS [kW]			
	Monofásicos		Trifásicos	
	220 V	230 V	3*220/380 V	3*230/400 V
1,5	0,330	0,345	0,987	1,039
3	0,660	0,690	1,975	2,078
3,5	0,770	0,805	2,304	2,425
5	1,100	1,150	3,291	3,464
7,5	1,650	1,725	4,936	5,196
10	2,200	2,300	6,582	6,928
15	3,300	3,450	9,873	10,392
20	4,400	4,600	13,164	13,856
25	5,500	5,750	16,454	17,321
30	6,600	6,900	19,745	20,785
35	7,700	8,050	23,036	24,249
40	8,800	9,200	26,327	27,713
45	9,900	10,350	29,618	31,177
50	11,000	11,500	32,909	34,641
63	13,860	14,490	41,465	43,648
Tabla 1: Potencias normalizadas [3]				



2.1.2 Tarifa de acceso

La tarifa de acceso que le corresponde pagar a cada usuario va en función de la potencia que tiene contratada y su forma de consumo. Las tarifas son determinadas por el Gobierno y publicadas periódicamente en el Boletín Oficial del Estado. El consumidor en mercado libre la paga a través de su comercializadora, en cambio en las tarifas PVPC el usuario ya tiene incluida la tarifa de acceso.

En la actualidad, con los cambios en el modo de facturación de la electricidad, las opciones a la hora de contratar una tarifa eléctrica son dos; la tarifa PVPC, fijada por el gobierno, o una tarifa de mercado libre con una comercializadora.

2.1.2.1 Tarifa PVPC

Se denomina PVPC al Precio Voluntario al Pequeño Consumidor. Esta tarifa es la que hasta el año 2014 se conocía como TUR (Tarifa de Último Recurso) y es fijada por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

La tarifa PVPC solo se puede contratar con las denominadas “Comercializadoras de referencia” [4], que son las siguientes:

- Endesa Energía XXI, S.L.U.
- Iberdrola Comercialización de Último Recurso, S.A.U.
- Gas natural S.U.R. SDG, S.A.
- E.ON Comercializadora de Último Recurso, S.L.
- EDP Comercializadora de Último Recurso, S.A.

Esta tarifa solo puede ser contratada por los consumidores con potencia contratada inferior a 10 kW y es la más indicada para consumidores que no quieren moverse o buscar ofertas en el mercado liberalizado.

Existen dos opciones a la hora de contratar la tarifa PVPC, contratarla con o sin discriminación horaria.

En la tarifa sin discriminación horaria, la energía se paga al mismo precio durante todo el día. En cambio en la tarifa con discriminación horaria (DH), se subdivide el día en varios tramos horarios, pagando a diferentes precios la energía consumida en cada tramo. Para la contratación de esta última, es imprescindible que el consumidor tenga instalado un equipo de medida adecuado.

El coste de cada término en la tarifa PVPC sin discriminación horaria es el que se presenta en la Tabla 2.

Tarifa de acceso	Término de potencia [€/kW año]	Término de energía [€/kW año]
PVPC sin DH	42,043426	0,124107

Tabla 2: Tarifa PVPC 2.0A [4]

En caso de contratar la tarifa PVPC con discriminación horaria, se puede elegir si se desea subdividir el día en 2 ó 3 tramos.

En el caso de la DH de dos periodos, los tramos horarios son diferentes dependiendo la época del año en la que se realiza el consumo energético, como se puede observar en la Figura 2.

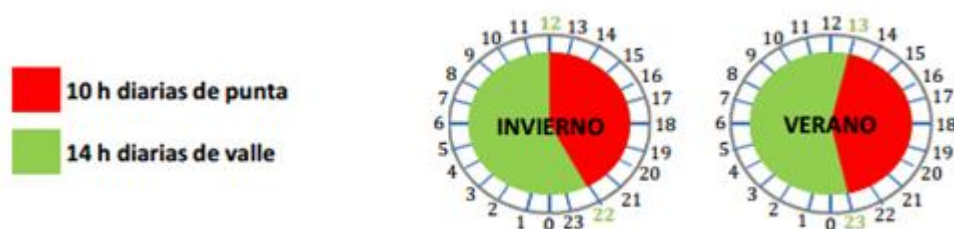


Figura 2: Horas valle y punta para cada época del año (2 periodos) [5]

La distribución invierno y verano se realiza de la siguiente manera:

- Verano: desde el último domingo de Marzo hasta el último domingo de Octubre.
- Invierno: desde el último domingo de Octubre hasta el último domingo de Marzo

Los precios fijados en la actualidad para la tarifa 2.0DHA son los que se muestran en la Tabla 3.

Tarifa de acceso	Término de potencia [€/kW año]	Término de energía punta [€/kWh]	Término de energía valle [€/kWh]
PVPC con DH	42,043426	0,148832	0,057995

Tabla 3: Tarifa PVPC 2.0DHA [4]

En el caso de la DH de tres periodos, las horas punta son 10 horas al día al igual que en la DH de dos periodos, pero las denominadas horas valle en la DH de dos periodos se dividen en horas llano y supervalle. Además, en este caso, no existe diferencia de los tramos en las diferentes épocas del año.



Figura 3: Horas valle, supervalle y punta para cada época del año (3 periodos) [5]

Los precios fijados en la actualidad para la tarifa 2.0DHA son los que se muestran a continuación.

Tarifa de acceso	Término de potencia [€/kW año]	Término de energía punta [€/kWh]	Término de energía llano [€/kWh]	Término de energía supervalle [€/kW año]
PVPC con DH 3 Periodos	42,043426	0,150812	0,071879	0,044146

Tabla 4: Tarifa PVPC 2.0DHS [4]

2.1.2.2 Tarifa de mercado libre

La tarifa de mercado libre es la que cada usuario negocia con las diferentes distribuidoras, es decir, cada consumidor contrata el suministro de energía con una empresa comercializadora a un precio libremente fijado por ésta. A diferencia de las tarifas PVPC, éstas no las fija el gobierno y por lo tanto existe competencia entre las diferentes comercializadoras. Hoy en día se calcula que solo el 20% de los consumidores con potencia instalada menor que 10 kW la tienen contratada.

En este caso también se puede elegir si contratar la discriminación horaria o no, que funciona de la misma manera que para las tarifas PVPC.

Fijándose en algunas de las tarifas de mercado libre de las compañías comercializadoras, se puede apreciar que los precios varían de manera considerable. En este caso se han analizado tres compañías como son Iberdrola, Endesa y Som Energía, esta última 100% renovable.

Compañía	Término de potencia [€/kW año]	Término de energía [€/kWh]
Iberdrola	37,8390834	0,122987
Endesa	37,8390852	0,121077
Som Energia	40,0434	0,121301
Tabla 5: Precios mercado libre tarifa 2.0A [5],[6],[7]		

Para el caso de contratar la discriminación horaria, los precios son los que aparecen en la Tabla 6.

Compañía	Término de potencia [€/kW año]	Término de energía punta [€/kWh]	Término de energía valle [€/kWh]
Iberdrola	37,8390834	0,148777	0,057974
Endesa	37,8390852	0,149587	0,059629
Som Energia	40,0434	0,14617	0,055325
Tabla 6: Precios mercado libre tarifa 2.0DHA [5],[6],[7]			

2.1.3 Cuantía peaje

La cuantía de peaje es el coste que tiene la comercializadora por usar las redes de la distribuidora. El precio es fijado por el Gobierno y es obligatorio mostrar dicho importe en cada factura. La comercializadora se encarga de pagarle a la distribuidora el importe que carga a cada cliente por este concepto.

2.1.4 Identificación punto de suministro (Código CUPS)

Código Universal de Punto de Suministro. Este código comienza con ES y a continuación contiene 20 cifras y letras. Es el identificador físico de la vivienda ó local donde se presta el suministro. No hace referencia a la comercializadora sino al cliente, y es siempre el mismo para ese punto de suministro, aunque cambie la comercializadora o el propietario del punto de suministro.

Es requerido para identificar la lectura de contador, cambios de compañía comercializadora, bajas, cambio de titularidad o tarifa entre otros.



2.1.5 CNAE

El CNAE es un código de 5 cifras que hace referencia a la actividad económica que se realiza en el punto de consumo según su clasificación nacional.

2.1.6 Nº de contrato

Referencia del contrato de suministro con la empresa distribuidora.

2.1.7 Periodo de facturación

El periodo de facturación se refiere al tiempo que se ha prestado el servicio facturado.

2.2 Datos de consumo

En la actualidad la factura eléctrica se puede desglosar de la siguiente manera:

2.2.1 Término fijo de potencia

Es la cantidad fija que el usuario debe pagar mensualmente a su compañía eléctrica aunque no se haya consumido ningún kWh (kilovatio hora), ya que lo que se paga con dicha cantidad es la garantía de poder conectar la potencia especificada en su contrato (potencia contratada) siempre que se necesite. El importe se obtiene multiplicando la potencia contratada por un coeficiente actualizado periódicamente por el Gobierno.

2.2.2 Término de energía consumida

La energía consumida es la cantidad de kWh que se consumen en un periodo concreto esto es, los kWh consumidos en el período indicado en la factura. Esta cantidad se multiplica por el precio del kWh en el momento del consumo. El resultado de dicha multiplicación es el importe total del coste de la energía consumida en el período indicado en la factura.

Dependiendo de la tarifa contratada se cobrará lo mismo por toda la energía consumida (tarifas sin discriminación horaria) o se cobrarán diferentes precios dependiendo la hora del día en la que el usuario haya realizado el consumo (tarifas con discriminación horaria).

2.2.3 Impuesto sobre la electricidad

El impuesto sobre la electricidad, entra dentro del grupo de impuestos especiales (alcohol, tabaco, etc.) y se aplica al consumo energético y a la potencia. El impuesto sobre la energía es cobrado por las comercializadoras de energía y remitido al gobierno.



Se calcula de la forma establecida por la legislación vigente [2], multiplicando el porcentaje 4,864% por 1,05113 y por el total del coste del término de energía y de potencia.

2.2.4 Alquiler de equipos de medida

Si el usuario no es propietario del contador, la distribuidora le cobrará el alquiler con un coste mensual que viene detallado en la factura. Este coste es fijado por el Gobierno y varía su precio en función del tipo de contador.

2.2.5 IVA

El IVA (Impuesto Valor Añadido) se aplica al total de la factura, incluida la parte derivada del impuesto sobre la electricidad. En la actualidad el IVA es del 21%.





3. Descripción de los diferentes sistemas

3.1 Sistema inicial

El sistema inicial de la vivienda que se analiza es un sistema convencional que consta de una conexión en AC de las cargas de la vivienda a red mediante el contador y el cuadro general de mando y protección. El cuadro general incluye el ICP (Interruptor de Control de Potencia) y las protecciones como se muestra en la Figura 4.



Figura 4: Sistema inicial

Se analiza el consumo energético de una vivienda unifamiliar situada en Pamplona (Navarra). Para dicho análisis se parte de los datos de consumo anual (Año 2011) cada 15 minutos y de los datos diarios cada segundo durante la primera semana de marzo del año 2011.

3.1.1 Análisis anual

Teniendo en cuenta el consumo anual, los datos obtenidos son los siguientes:

- Potencia máxima: 3876,4 W=3,87 kW
- Energía consumida: 3206545,73 Wh= 3206,5 kWh
- Potencia media consumida: 366,0620 W

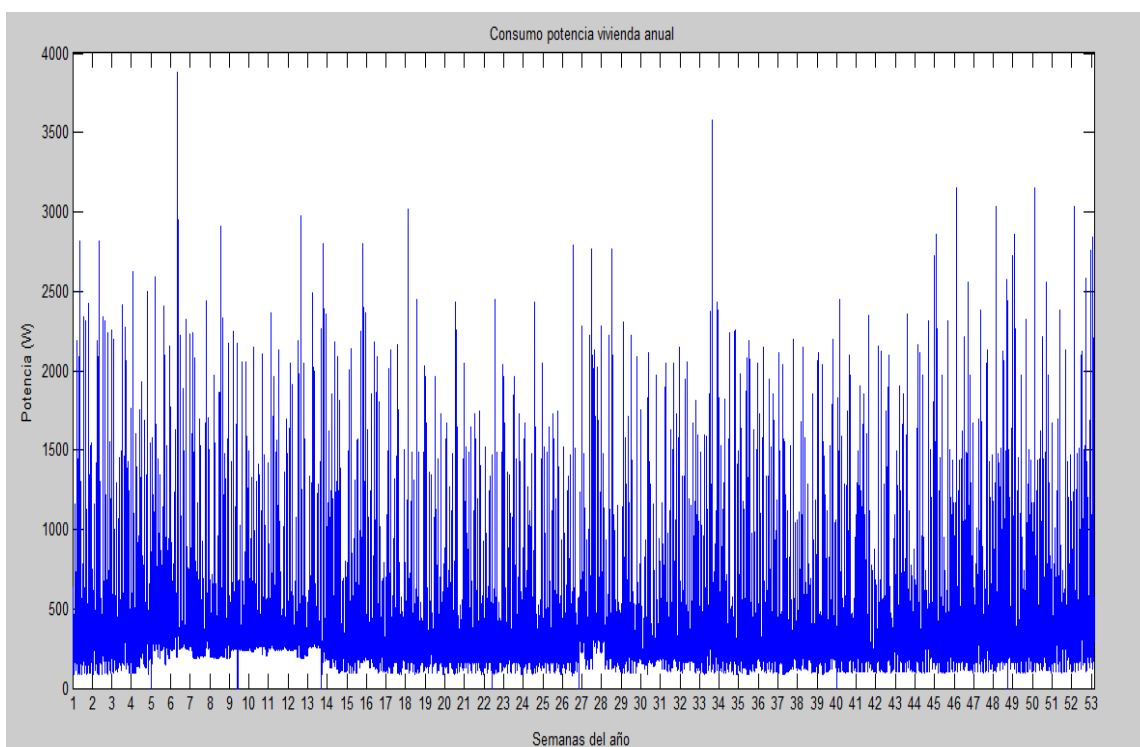


Figura 5: Consumo potencia anual vivienda (W)

Se puede analizar mas exhaustivamente el consumo de la vivienda mirando cuantas veces se repite el consumo de cada potencia mediante el histograma de potencias consumidas que se muestra en la Figura 6. Se puede ver como durante más del 35% del tiempo la vivienda consume 400 W y durante más del 80% del tiempo el consumo está por debajo de los 1000 W.

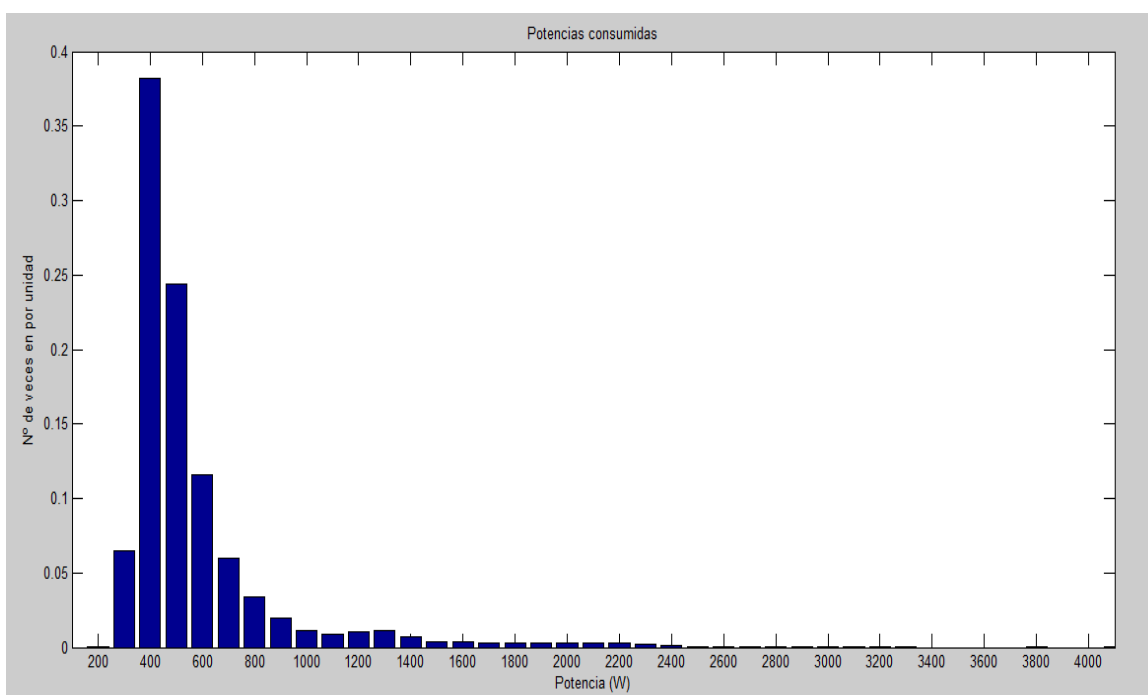


Figura 6: Curva de potencias consumidas medias clasificadas



Además del consumo de energía anual, se puede realizar un análisis de la energía consumida en la vivienda en las horas punta y en las horas valle durante el mismo periodo. El resultado es el siguiente:

- Consumo horas Punta: 1641807,54 Wh = 1641,8 kWh (51,2% del total)
- Consumo horas Valle: 1564738,19 Wh = 1564,7 kWh (48,8% del total)

3.1.2 Análisis semanal

Se puede realizar un análisis semejante al realizado anteriormente pero fijándose en este caso, en el consumo diario durante la primera semana de marzo del 2011.

- Día 1
 - Potencia máxima: 2629,4 W
 - Energía consumida: 9475,2 Wh

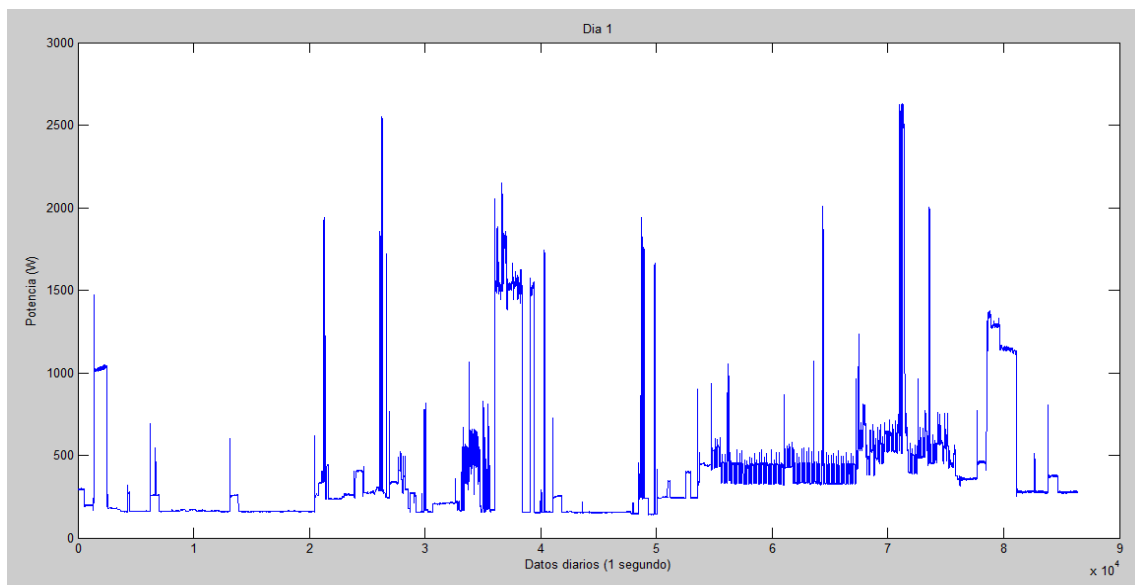


Figura 7: Consumo potencia Día 1

- Día 2
 - Potencia máxima: 3512,3 W
 - Energía consumida: 1190,6 Wh

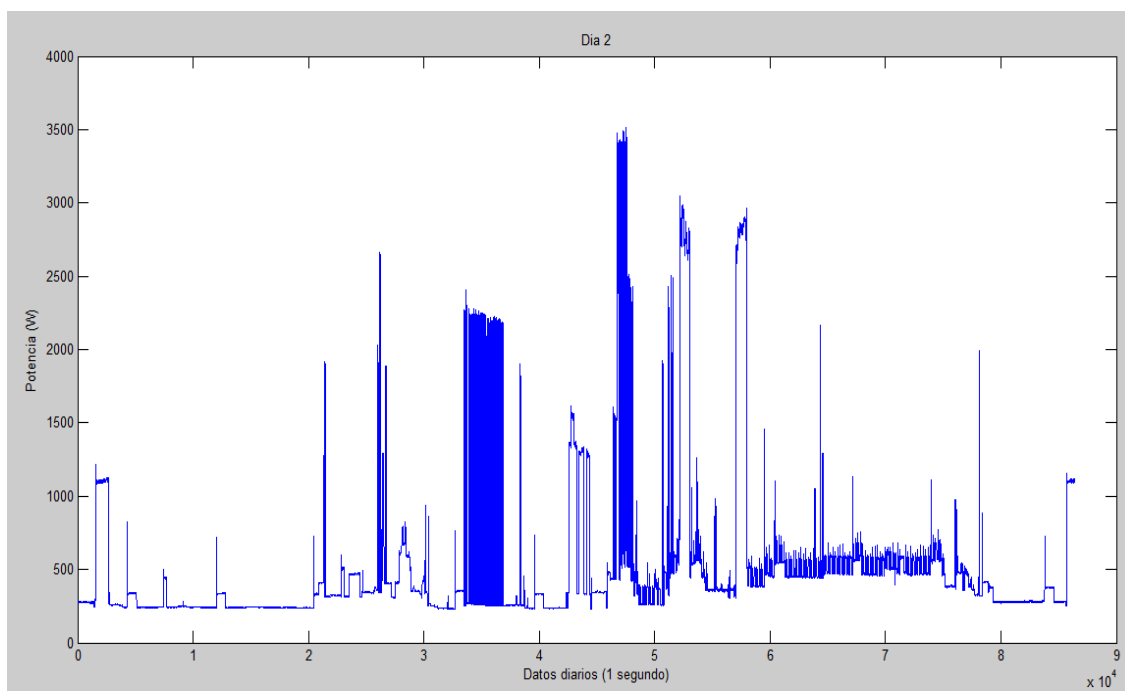


Figura 8: Consumo potencia Día 2

- Día 3
 - Potencia máxima: 5034 W
 - Energía consumida: 9693,3 Wh

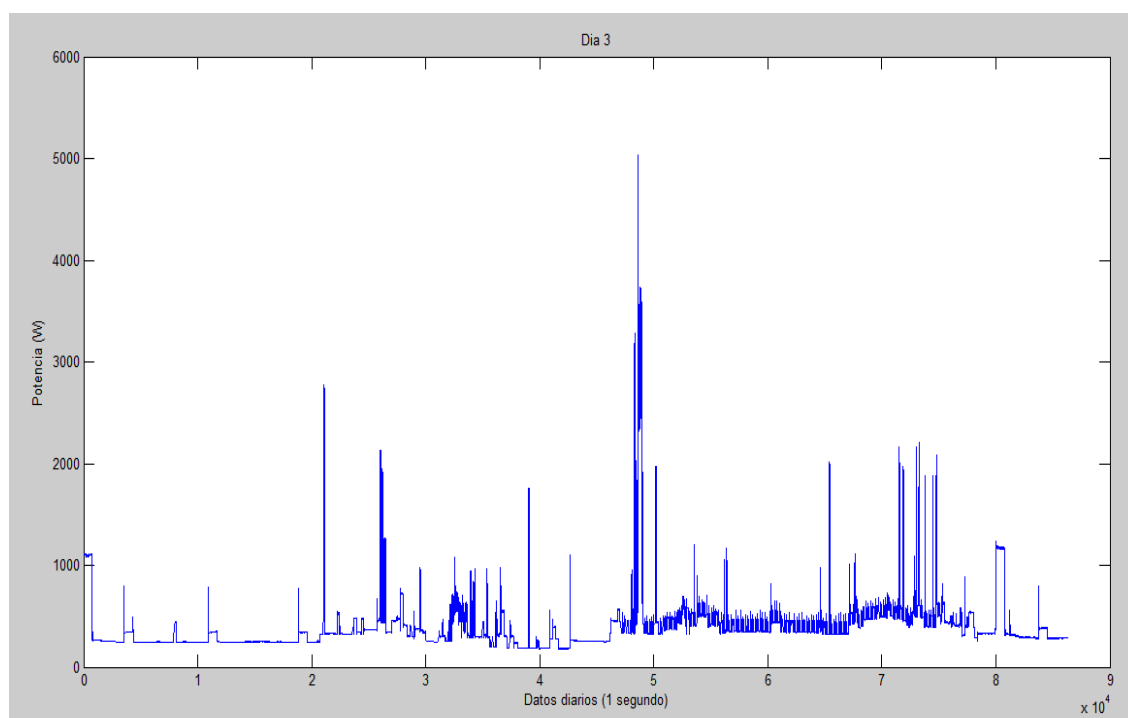


Figura 9: Consumo potencia Día 3



- Día 4
 - Potencia máxima: 2790 W
 - Energía consumida: 9216,1 Wh

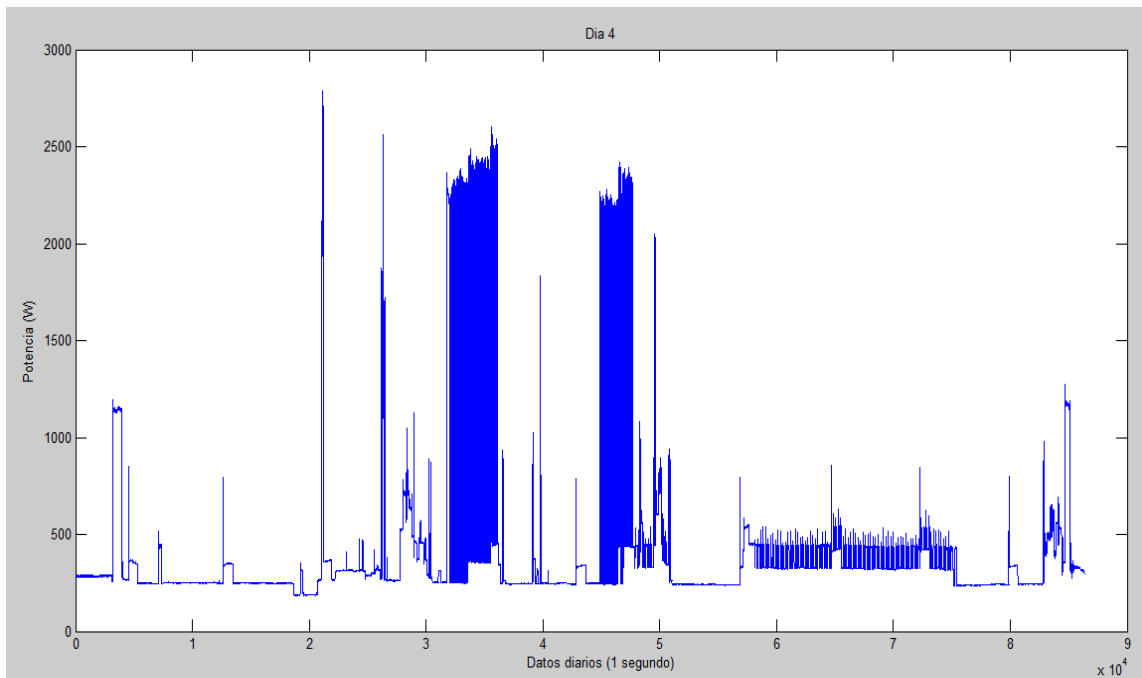


Figura 10: Consumo potencia Día 4

- Día 5
 - Potencia máxima: 4614,4 W
 - Energía consumida: 1220,5 Wh

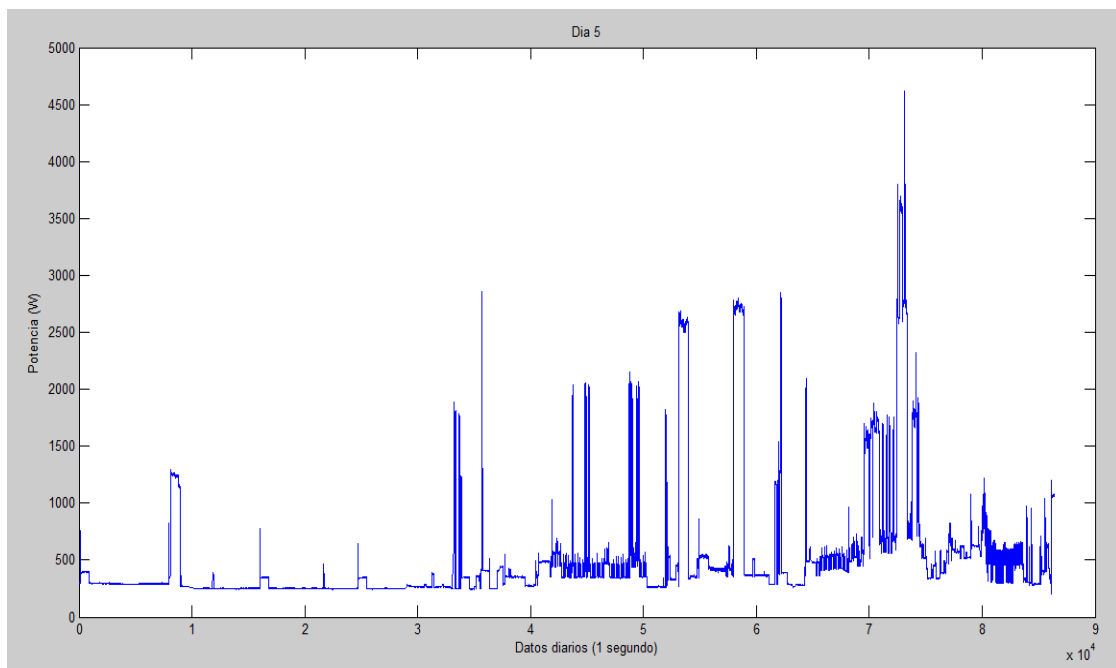


Figura 11: Consumo potencia Día 5

- Día 6
 - Potencia máxima: 4340,7 W
 - Energía consumida: 1019,3 Wh

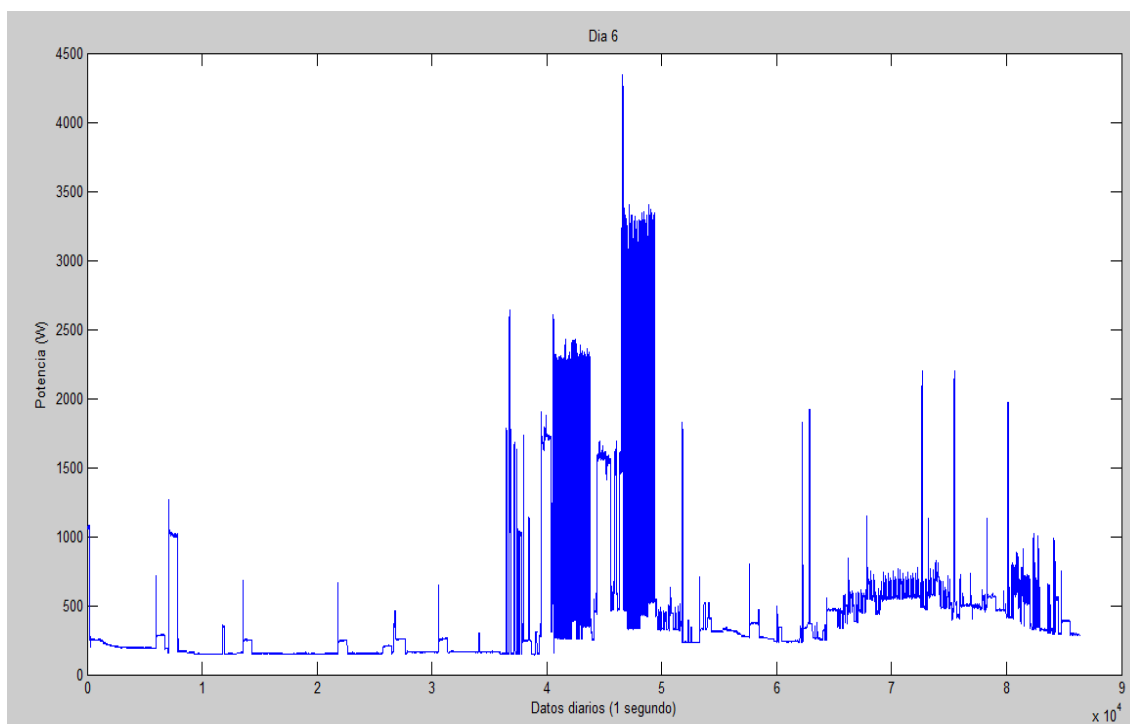


Figura 12: Consumo potencia Día 6

- Día 7
 - Potencia máxima: 3003,4 W
 - Energía consumida: 10953 Wh

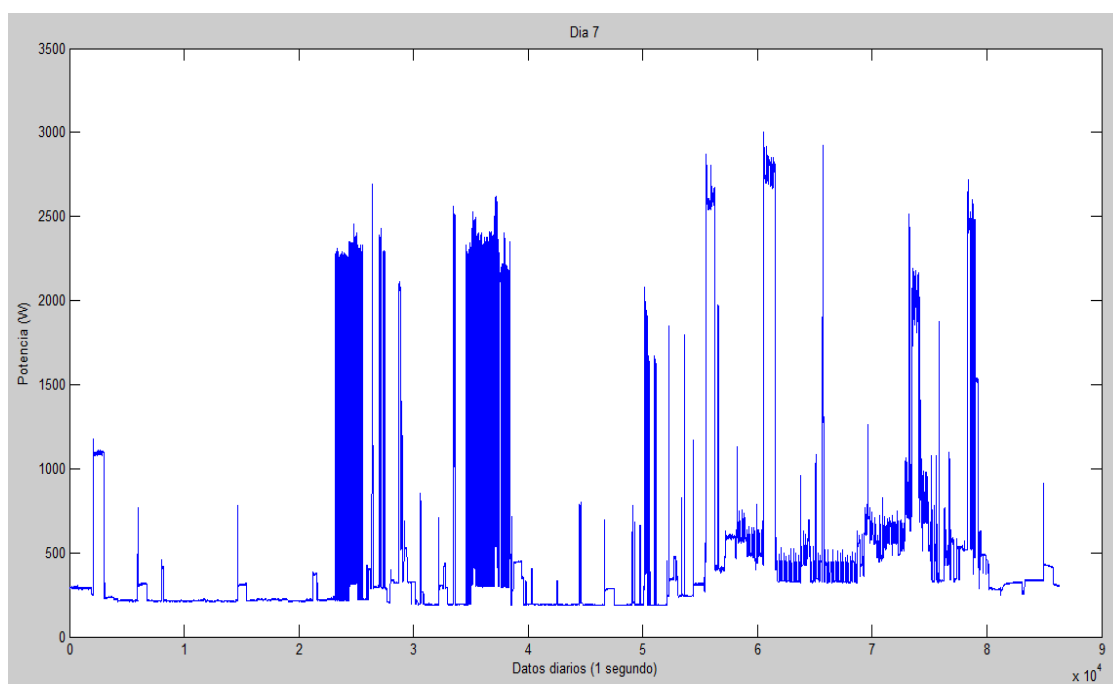


Figura 13: Consumo potencia Día 7

Después de haber realizado este análisis más exhaustivo, se puede determinar que el consumo máximo de potencia es de 5034 W. Este consumo se da el día 5 de la primera semana de marzo. A pesar de que la vivienda analizada tiene una potencia contratada de 5,75 kW, para todo el análisis se supondrá que es de 4,6 kW, ya que en muy pocas ocasiones supera los 4,6 kW de consumo y por tanto se podría bajar la potencia contratada sin que la vivienda sufriera grandes consecuencias. Fijándose en la energía consumida, se puede aproximar el consumo energético a 10000 Wh diarios.

3.2 Sistema propuesto

El sistema que se propone será un sistema formado por un convertidor, un contador, un sensor de corriente AC, un sistema de almacenamiento basado en baterías, el cuadro general de mando y protección (ICP y protecciones), las cargas de la vivienda y la red eléctrica.

La forma de conexión entre los diferentes elementos se muestra en la Figura 14.



Figura 14: Esquema de sistema propuesto



3.2.1 Sistemas de almacenamiento. Baterías electroquímicas

En la actualidad existen diversas formas de almacenar energía, como sistemas electroquímicos, eléctricos, mecánicos, potenciales y térmicos. Las baterías electroquímicas son las más utilizadas para este tipo de aplicación por sus características de potencia, energía y precio.

Las baterías electroquímicas constituyen el sistema clásico de almacenamiento de energía eléctrica en forma de corriente continua, basado en reacciones de oxidación-reducción que tienen lugar en los electrodos separados por un electrolito [8]. Las características principales de estos dispositivos se indican a continuación [9]:

- Energía específica: Energía que puede almacenar una batería por unidad de masa (Wh/kg). Es una de las principales ventajas de las baterías electroquímicas, ya que otros almacenadores tienen menor densidad de energía.
- Potencia específica: Potencia que puede entregar una batería por unidad de masa (W/kg).
- Capacidad de una batería (Ah, amperio-hora): Cantidad de carga eléctrica que puede almacenar. La cantidad de carga eléctrica se mide en culombios (C), y es el producto de la corriente por el tiempo. La capacidad de una batería se especifica dependiendo el tiempo en el cual la batería es capaz de suministrar dicha cantidad de energía. Suelen ser típicos los valores C₁₀ o C₂₀, de los que se puede obtener los amperios (A) que se pueden extraer de la batería durante ese tiempo (10 y 20 horas respectivamente).
- Número de ciclos de carga y descarga/ Vida útil: Tiempo que la batería puede mantener sus prestaciones por encima de unos límites mínimos predeterminados. Definido también como el número de veces que la batería puede ser cargada/descargada recobrando su capacidad completa después de su uso.
- Rendimiento (%): Fracción de energía eléctrica que devuelve la batería, en proporción a la energía que ha sido necesaria para cargarla.
- Autodescarga: Pérdida de energía de una batería cuando se mantiene en circuito abierto. Generalmente la autodescarga se expresa en términos de porcentaje de pérdida de energía con respecto a la capacidad nominal en un periodo de tiempo de un mes. Además algunos tipos de baterías presentan el llamado “efecto memoria”, en el que en cada recarga se limita el voltaje o la capacidad de almacenamiento. Esto sucede debido a corrientes elevadas, altas temperaturas, etc. las cuales provocan el envejecimiento del dispositivo, imposibilitando así el aprovechamiento de toda su energía.

- DOD - Depth Of Discharge - Profundidad de descarga: La profundidad de descarga de una batería es el ratio de energía descargada en relación a la cantidad de energía que puede almacenar.
- Coste (€/kWh): Coste de la batería por unidad de energía almacenada.

Por su naturaleza, si se comparan con otro tipo de tecnologías, no son dispositivos capaces de absorber grandes puntas de potencia en las cargas ni proporcionarlas en las descargas sin que ello no repercuta negativamente en su vida útil [10].

Otro inconveniente importante es la alta toxicidad de algunos metales pesados que forman parte de los distintos tipos de baterías, que constituyen un problema medioambiental grave. Esto no ocurre en el caso de las baterías de plomo-ácido ya que el plomo es 100% reciclable.

Hay muchos tipos de tecnologías de baterías, pero se analizarán para este sistema las más significativas que son plomo-ácido, níquel-cadmio, ion-litio y sodio-azufre [9].

3.2.1.1 Plomo-ácido

Son las baterías electroquímicas más desarrolladas y utilizadas en sistemas de potencia, por lo que poseen una madurez que no tienen otras tecnologías. El resto de baterías están siendo utilizadas en aplicaciones donde las restricciones de tamaño y peso son críticas. Sus principales ventajas son su bajo precio y que apenas precisan mantenimiento.

Otra de las ventajas de esta tecnología es su modularidad, que permite diseños avanzados de sistemas a partir de combinación de celdas y módulos más simples.

El principal inconveniente es que tienen una baja energía específica 30 Wh/kg y además están excesivamente influenciadas por la temperatura. Esto hace que sea muy importante mantener la temperatura del electrolito cercana a los 25°C, ya que a esta temperatura se alcanza el balance óptimo entre la eficiencia y la vida útil de la batería.

El número de ciclos de carga/descarga dependen del DOD. Cuando ésta disminuye, el número de ciclos aumenta. Para un determinado DOD, la batería más robusta proporciona el mayor número de ciclos pero tienen aun así un numero bajo de ciclos [10].

3.2.1.2 Níquel-Cadmio (NiCd)

Las baterías de Ni-Cd además de ser una tecnología madura y robusta, tienen como ventaja que poseen una mayor densidad de potencia que las baterías de plomo ácido. Otra característica significativa es el elevado rendimiento.

Son capaces de soportar cargas y descargas a altas potencias sin sufrir ningún daño y además con grandes profundidades de descarga que llegan a ser hasta del 100% de su capacidad.

Aunque la mayoría de sus características están por debajo del resto de baterías electroquímicas, son la tecnología que mayor durabilidad ofrece ante abusos físicos y electrónicos, también es la que mejor soporta sobrecargas y cortocircuitos, además de poder trabajar en un amplio rango de temperaturas con un gran número de ciclos de vida, por lo que se puede decir que son de las más resistentes [9].

Uno de los aspectos a remarcar es que son baterías con una autodescarga inicial elevada, pero que disminuye con el tiempo, permitiendo largos periodos de almacenamiento con una retención considerable de la carga inicial. La vida útil de estas baterías es de más de dos veces la de algunas baterías de plomo-ácido.

El mayor inconveniente de las baterías de Ni-Cd es que poseen efecto memoria y su coste en el mercado es bastante alto.

3.2.1.3 Sodio-Azufre (NaS)

Su principal característica es que pueden alcanzar temperaturas superiores a 300 °C. Poseen alta densidad de energía y potencia, y un fenómeno de autodescarga que se puede tomar como insignificante.

Están constituidas por materiales baratos y abundantes, pero la naturaleza corrosiva del sodio hace que necesiten aislamiento. Además hay que prevenir también las reacciones químicas que se pueden llegar a dar entre el sodio y el azufre, por lo que hay que dotarlas también de elementos de seguridad. Todo esto supone unas pérdidas y gastos añadidos de mantenimiento que encarecen la tecnología.

A pesar de esto, tienen una alta eficiencia, por lo que son una buena opción cuando se quiere apoyar a las redes durante las puntas de demanda.

Los ciclos de vida de estas baterías están fuertemente influenciados por la profundidad de descarga, siendo aproximadamente de 2500 ciclos cuando se descargan al 100%. Aun así este valor es superior al de otras tecnologías.



3.2.1.4 Ion-litio (Li-ion)

Las baterías de ión litio son las que mayores ventajas presentan, en cuanto a energía y potencia específica, eficiencia en el almacenamiento, rendimiento en la descarga y ausencia de efecto memoria. La autodescarga también es una característica positiva de esta tecnología que hace que tras seis meses en reposo, puedan llegar a retener un 80% de su carga.

Además de dichas ventajas, tienen otras como la capacidad para operar con un elevado número de ciclos de regeneración y el bajo mantenimiento.

Estas baterías tienen un alto voltaje por célula ya que cada celda proporciona 3,7 voltios, lo mismo que tres celdas de Ni-Cd (1,2 V cada una). Este voltaje sufre una descarga lineal pequeña durante toda la descarga, por lo cual evita la necesidad de circuitos reguladores y facilita conocer la cantidad de carga que almacenan la baterías [11].

El punto débil de estas baterías viene dado por la escasa capacidad de descarga, el coste y la vida útil. Son dispositivos caros y con una duración relativamente corta ya que tienen un número limitado de ciclos de carga/descarga, por lo que aunque prometen en un futuro próximo, a su tecnología aún le queda mucho por madurar.

Otro de los aspectos negativos es que usan electrolitos orgánicos inflamables que hacen que se aumente la rapidez de degradación y la sensibilidad a las elevadas temperaturas, que pueden provocar la destrucción por inflamación o incluso explosión. Esto hace que requieran la inclusión de dispositivos adicionales de seguridad, resultando en un coste superior que ha limitado la extensión de su uso.

Para finalizar, se muestra en la siguiente Tabla un cuadro comparativo de las características principales de las tecnologías de baterías electroquímicas analizadas.

Tecnología	Tensión por celda [V]	Energía específica [Wh/kg]	Rendimiento [%]	Auto- descarga por mes (% del total)	Nº de ciclos de vida útil	Precio [€/kWh]
Plomo- ácido	2	30-40	80-90	2-5	500- 800	50-150
Ni-Cd	1,2	48-80	70-90	5-20	2000- 2500	200-600
NaS	2,58	90	70-90	0	2500	200-300
Li-ion	3,7	100-265	95-100	1	3000	700-1000

Tabla 7: Comparativa de las principales características de los principales tipos de baterías [12], [13]

3.2.1.5 Elección de baterías. Baterías plomo-ácido estacionarias

Para el sistema propuesto se busca una tecnología de baterías que cumpla los siguientes requisitos:

- Alta eficiencia de carga para no tener que consumir de la red mucha más energía que la demandada por la vivienda.
- Baja auto-descarga.
- Alta relación vida útil-coste.
- Bajo mantenimiento para comodidad del usuario durante los años de vida útil de la instalación.

Una vez realizada la comparación entre los diferentes tipos y analizadas que características se necesitan para la batería, se concluye que el tipo de baterías que se usarán en la instalación serán las de plomo-ácido, principalmente debido al menor coste que tienen en el mercado con respecto al resto de tecnologías, su madurez y el poco mantenimiento que requieren.

Dentro de las baterías de plomo ácido dependiendo del uso se pueden clasificar en baterías de arranque, de tracción y estacionarias. Estas últimas son las más apropiadas para un sistema fotovoltaico autónomo o para un sistema como el propuesto.



A su vez dentro de las baterías estacionarias, existen distintos desarrollos que mejoran ciertas características. Hay dos tipos fundamentales de baterías de plomo-ácido estacionarias:

- Plomo-ácido líquido (abiertas). En estas baterías el electrolito se encuentra en estado líquido y se les debe añadir agua destilada periódicamente. No serían las más apropiadas para este caso debido al mantenimiento que necesitan para insertarles eventualmente el agua perdida.
- Baterías de gel selladas VRLA (Valve Regulated Lead Acid). Son mucho más robustas que las de plomo-ácido líquidas, no precisan mantenimiento (no hay que rellenar el electrolito), necesitan menos energía para ser recargadas, permiten más profundidad de descarga, son más transportables, etc. aunque por el contrario son más caras. Además, hay que tener en cuenta que no se puede superar su tensión de carga porque da lugar a la gasificación. A su vez, éstas se pueden separar en dos tipos según el estado en el que se encuentre el electrolito [14].
 - o Baterías AGM: AGM son las siglas de “Absorbent Glass Material”. En estas baterías, el electrolito se absorbe por capilaridad en un separador en fibra de vidrio situada entre las placas. La gama de baterías AGM tiene una resistencia interna muy baja, por lo que son muy convenientes para usos que conllevan una alta intensidad de descarga.
 - o Baterías de Gel (GEL): En este tipo de baterías, el electrolito se inmoviliza en forma de gel. Esta serie tienen por lo general una mayor vida útil que las baterías AGM estándar.

El mercado de baterías de plomo-ácido es amplio y los precios son muy variados. Se analizará la capacidad, la vida útil y el precio de baterías de dos fabricantes diferentes, Victron Energy y Fiamm.

Victron Energy cuenta en su catalogo con baterías AGM y GEL con las siguientes características.

Modelo	Tecnología	Voltaje nominal [V]	Capacidad C20 [Ah]	Precio [€]	Precio por Ah [€/Ah]
BAT212070080	AGM	12	8	21	2,625
BAT212120080	AGM	12	14	37	2,642
BAT212200080	AGM	12	22	49	2,227
BAT412350080	AGM	12	38	116	3,052
BAT412550080	AGM	12	60	134	2,233
BAT412600080	AGM	12	66	184	2,787
BAT412800080	AGM	12	90	195	2,166
BAT412101080	AGM	12	110	248	2,254
BAT412121080	AGM	12	130	292	2,246
BAT412151080	AGM	12	165	371	2,248
BAT412201080	AGM	12	220	470	2,136
BAT412550100	Gel Ciclo profundo	12	60	154	2,566
BAT412600100	Gel Ciclo profundo	12	66	192	2,909
BAT412800100	Gel Ciclo profundo	12	90	200	2,222
BAT412101100	Gel Ciclo profundo	12	110	250	2,272
BAT412121100	Gel Ciclo profundo	12	130	295	2,269
BAT412151100	Gel Ciclo profundo	12	165	375	2,272
BAT412201100	Gel Ciclo profundo	12	220	489	2,222

Tabla 8: Características de las baterías Victron Energy [15],[16]

Como se puede La curva de vida útil de las diferentes baterías de Victron Energy se muestra en la Figura 15. Como se puede observar, la vida útil depende entre otros factores de la cantidad de ciclos a los que se ven sometidas y de la profundidad de dichos ciclos.

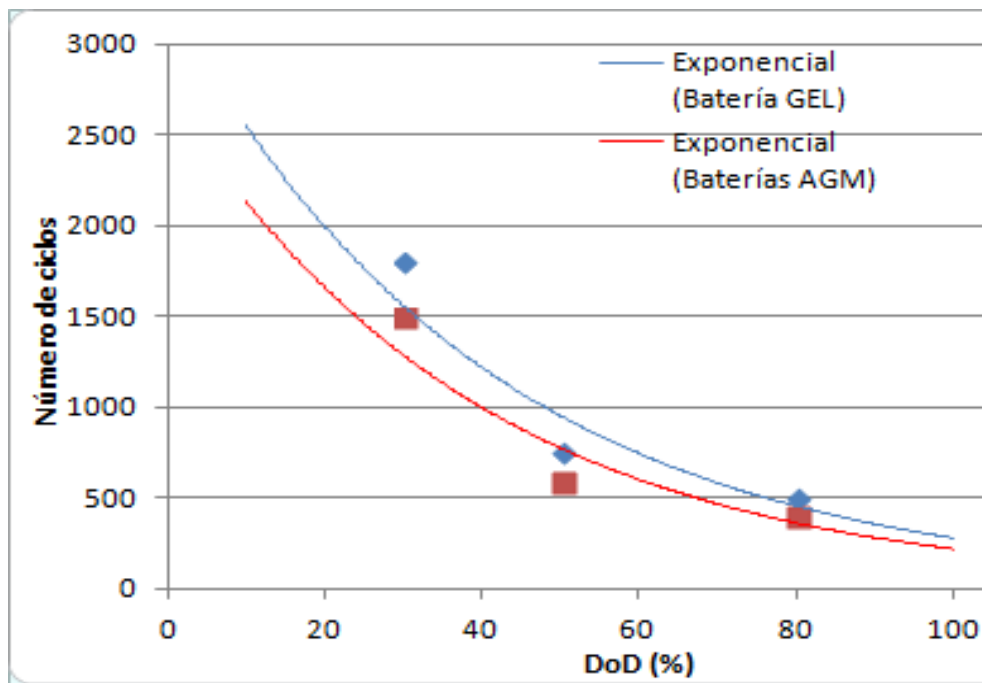


Figura 15: Curva número de ciclos vs. profundidad de descarga baterías Victron Energy

Por otra parte, la marca Fiamm cuenta con baterías abiertas y de GEL especiales para almacenamiento de energía renovable. Las de tipo GEL que serían adecuadas para esta aplicación (SMG solar), tienen capacidades (C_{10}) que van desde los 150 Ah hasta los 3000 Ah y los precios oscilan entre 130 € y 800 € por cada celda de 2 V [17]. Se puede observar con los precios dados, que el precio del Ah disminuye conforme mayor sea la capacidad de la batería.

Además tiene disponibles en el mercado una amplia gama de baterías de GEL y AGM con tensión nominal de 12 V que son más adecuadas para este sistema ya que así se necesitará menos número de baterías.

Entre las gamas de las que dispone están la gama FG y SMG que son las que se compararán en la siguiente Tabla.

Modelo	Tecnología	Voltaje nominal	Capacidad (C20)	Precio [€]	Precio por
		[V]	[Ah]		Ah [€/Ah]
FG20121	AGM	12	1,2	9,90	8,25
FG20121A	AGM	12	1,2	10.92	9,1
FG20201	AGM	12	2	12,90	6,45
FG20341	AGM	12	3,4	17,90	5,264
FG20451	AGM	12	4,5	15,90	3,53
FG20721/2	AGM	12	7,2	16,90	2,34
FG21201	AGM	12	12	34,90	2,90
FG21803	AGM	12	17	44,90	2,64
FG22703	AGM	12	27	74,90	1,77
FG24204	AGM	12	42	108,90	2,59
FG27004	AGM	12	70	185,90	2,65
12SMG 100/F	GEL	12	100	400-600	4-6

Tabla 9: Características de las baterías Fiamm [18],[19],[20]

Al igual que las baterías de la marca Victron Energy, para las baterías Fiamm también se puede encontrar el número de ciclos de vida útil dependiendo del porcentaje de descarga (DOD), Figura 16.

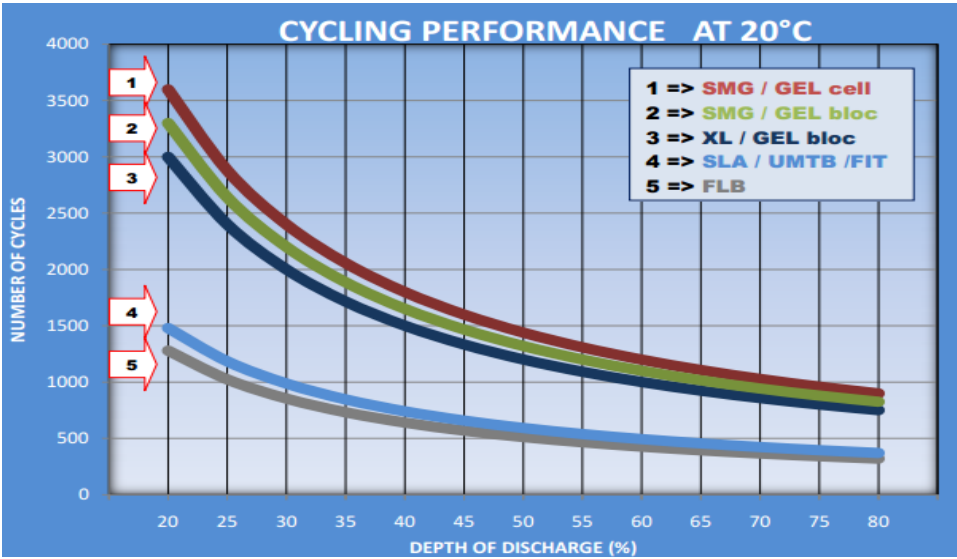


Figura 16: Curva profundidad de descarga vs numero de ciclos baterías Victron Energy [21]

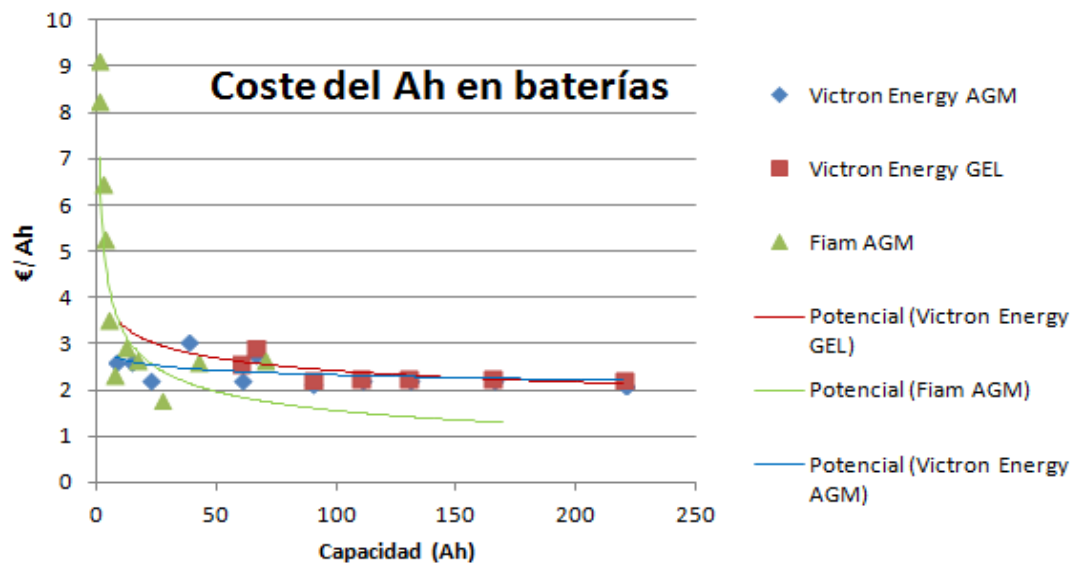


Figura 17: Evolución del precio por Ah según la capacidad de la batería

Se puede comprobar fijándose en la Figura 17 que el precio del Ah de las baterías no se mantiene constante, sino que varía. En general, tiende a reducirse conforme aumenta la capacidad.

3.2.3 Convertidor electrónico: Inversor-cargador

Los inversores tienen como objetivo convertir la corriente continua (CC) que suministran las baterías a corriente alterna (CA) que será la que consuman las cargas. Si además es cargador, es capaz de que el flujo de energía fluya en la dirección inversa (de CA a CC). El principio de funcionamiento de estos convertidores se basa en el empleo de transistores que actúan a modo de interruptores permitiendo interrumpir las corrientes e invertir su polaridad.

Las principales características de los inversores son [22]:

- Tensiones nominales de entrada y salida. Se debe ajustar la tensión de DC de las baterías a la entrada del inversor.
- Potencia máxima que pueden proporcionar en estado estacionario.
- Eficiencia (que varía con la potencia).

Aparte de una alta eficiencia, todo inversor tiene que cumplir ciertas características que entre otras son: estabilidad del voltaje de salida, baja distorsión armónica, capacidad para resistir potencia punta, elevado rango de temperaturas de trabajo (suelen estar entre -5 y

40°C), arranque y desconexión automáticos (al detectar carga o la ausencia de ella) y aspectos de seguridad como protección contra cortocircuitos, sobrecargas e inversión de polaridad.

En la actualidad existen gran cantidad de convertidores monofásicos y trifásicos, pero para esta aplicación se usa un monofásico.

Aparte de la diferenciación entre convertidor monofásicos y trifásicos, se pueden dividir en inversores conectados a red y aislados.

Otra posible clasificación es la de unidireccionales y bidireccionales. La dirección del flujo de energía en cada convertidor se debe a la manera en la que se encuentran conectados en el circuito. Dos ejemplos de sistemas típicos donde se emplean convertidores unidireccionales o bidireccionales son los que se exponen a continuación.

El caso típico de instalación fotovoltaica conectada a red es un sistema monofásico o trifásico que no tiene almacenamiento y donde el inversor solo tiene flujo de energía en dirección hacia la red (unidireccional), ya que los paneles fotovoltaicos no reciben energía, Figura 18.



Figura 18: Esquema general de una instalación FV conectada a red [23]

Por el contrario, en un sistema aislado como el de la Figura 19 el convertidor monofásico está conectado a la batería y por lo tanto necesita de un flujo bidireccional para la carga y descarga de la misma.

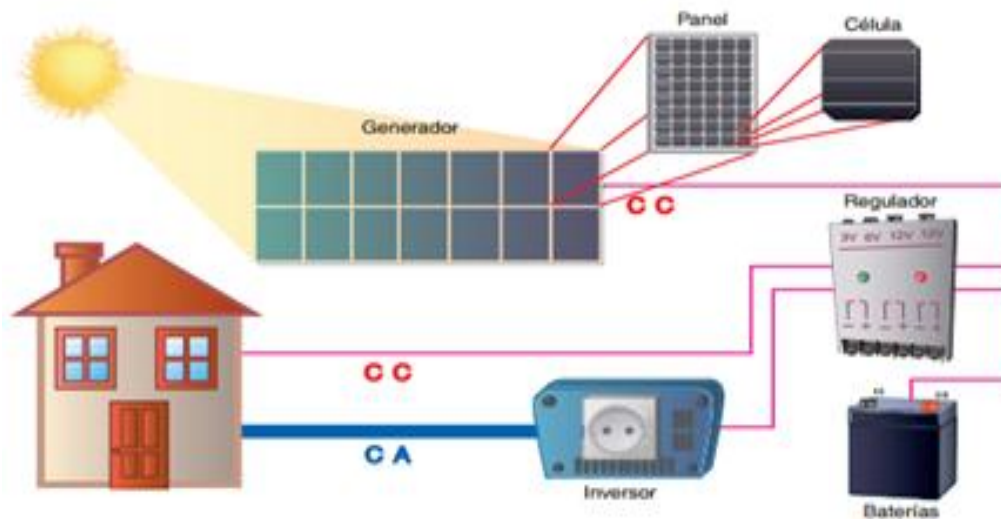


Figura 19: Esquema general de una instalación aislada [23]

Para la puesta en funcionamiento del sistema que se propone, se necesita un convertidor monofásico que incluya el controlador para la gestión de la potencia intercambiada con la red y de las baterías. Además la conversión de AC-DC debe poder realizarse con un flujo de energía bidireccional ya que las baterías van a ser cargadas y descargadas.

Una vez elegido el convertidor, se podría ver cuál sería su precio en el mercado y se analizarían diferentes opciones, pero esto no es posible hoy en día ya que no hay un mercado maduro para este tipo de convertidores. Por lo tanto, se parte de que actualmente en el mercado los precios son superiores a los que existirían si se masificara el uso de estos dispositivos. Este hecho hará necesario realizar una estimación del precio que tendrían los convertidores en un futuro próximo fijándose en los convertidores que hay actualmente, los de para conexión a red y los aislados.

Se podría pensar que los que más se ajustan a las necesidades de este tipo de instalación son los aislados, debido a su bidireccionalidad y su sistema de gestión de baterías, pero analizando el mercado se ve como estos convertidores resultan demasiado complejos para el sistema propuesto. Ejemplo de ello es el inversor para sistemas aislados INGECON® HYBRID AC (Ingeteam), que es capaz de gestionar la potencia logrando el equilibrio entre la generación, la acumulación y el consumo. En caso de necesidad además, conecta y controla un generador auxiliar.

Como se quiere realizar una estimación del precio que tendría este dispositivo en el mercado implantándolo ampliamente, no resulta factible tomar como referencia los inversores aislados, ya que alguna de las etapas de conversión que realizan no son necesarias en el convertidor del sistema propuesto, y por tanto se estaría suponiendo un precio superior al que en realidad podrían llegar a tener.

Fijándose en la estructura y en los semiconductores necesarios para realizar el convertidor del sistema propuesto, se ve que se asemeja más con la estructura de los convertidores de conexión a red (fotovoltaica). Una estructura de los inversores fotovoltaicos actuales es la que se muestra en la siguiente Figura.

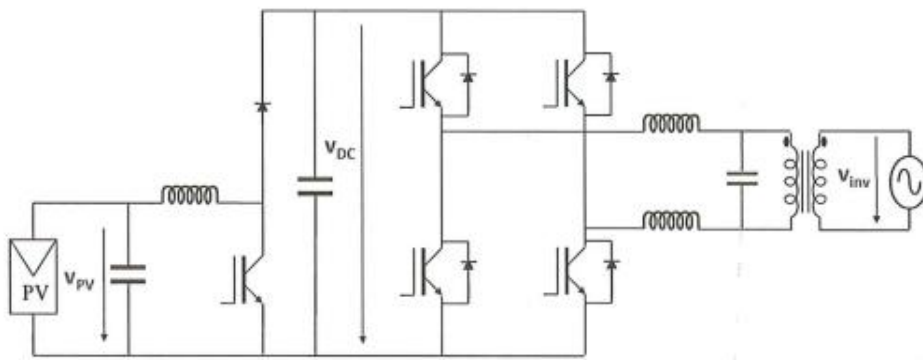


Figura 20: Circuito de un inversor fotovoltaico monofásico [24]

Una de las marcas de inversores fotovoltaicos referencia en la actualidad, Ingeteam, cuenta con una amplia gama de inversores fotovoltaicos monofásicos. Dentro de todas las gamas, se selecciona la que más se asemeja a lo que se quiere conseguir fijándose sobre todo en la potencia nominal de CA y el precio. Estos inversores son de la gama INGECON® SUN LITE TL (sin transformador), y sus características principales y los precios se muestran en la Tabla 10 y 11 respectivamente.

MODELO	2,5TL	3TL	3,3TL	3,68TL	3,8TL	4,6TL	5TL	6TL
CÓDIGO ELEKTRA	480463	480471	480467	480468	480469	480472	480475	480477
NUMERO DE SEGUIDORES DE MPP	1	1	1	1	1	1	1	1
POTENCIA RECOMENDADA DE CC (KWP)	2,8-3,3	3,2-4	3,8-4,3	3,9-4,8	4,1-5	5,2-6	5,7-6,5	6,3-7
CORRIENTE MAX CC	17A	17A	22A	22A	33A	33A	33A	33A
TENSIÓN MAX DE ENTRADA (TENS. CIRCUITO ABIERTO)	550V							
TENSIÓN DE ENTRADA MIN.	125V							
RANGO DE OPERACIÓN MPPT (CC) (V)	160-450	195-450	155-450	175-450	140-450	145-450	160-450V	190-450V
CORRIENTE DE SALIDA MÁX	13A	13,5A	17A	17A	18,8A	24,2A	25,5A	26,2A
POTENCIA NOMINAL CA	2,7kW	3kW	3,63kW	3,68kW	3,9kW	5kW	5,5kW	6kW
COEFICIENTE DE RENDIMIENTO MÁXIMO	96,6%	96,6%	96,8%	96,8%	97%	97%	97%	97%
COEFICIENTE DE RENDIMIENTO EUROPEO	95%	95,1%	95,2%	95,2%	95,6%	96%	96,1%	96,1%
TOPOLOGIA	Sin transformador							
DIMENSIONES (ANCHURA x PROFUNDIDAD x ALTURA)	360 x 470 x 320 mm							
PESO	18,3 Kg	18,3kg	19,7kg	19,7kg	23,kg	23,3kg	23,3kg	23,3kg

Tabla 10: Características inversores monofásicos INGECON® SUN LITE TL [25]

Modelo	Potencia [kW]	Coste [€]
Ingecon Sun Lite 2,5TL	2,5	1050,00
Ingecon Sun Lite 3TL	3	1150,00
Ingecon Sun Lite 3,3TL	3,3	1200
Ingecon Sun Lite 3,68TL	3,68	1250,00
Ingecon Sun Lite 4,6TL	4,6	1450,00
Ingecon Sun Lite 5TL	5	1600,00
Ingecon Sun Lite 6TL	6	1700,00

Tabla 11: Precios de los inversores INGECON® SUN LITE TL [26]

El coste de los inversores fotovoltaicos es muy variado dependiendo del fabricante del que se trate. Además también influye la potencia nominal para la que estén diseñados. En general los inversores con mayor potencia nominal en AC tienen menores costes por W instalado. Este hecho se muestra en la Figura 21, donde se tiene en cuenta el coste de los inversores INGECON® SUN LITE.

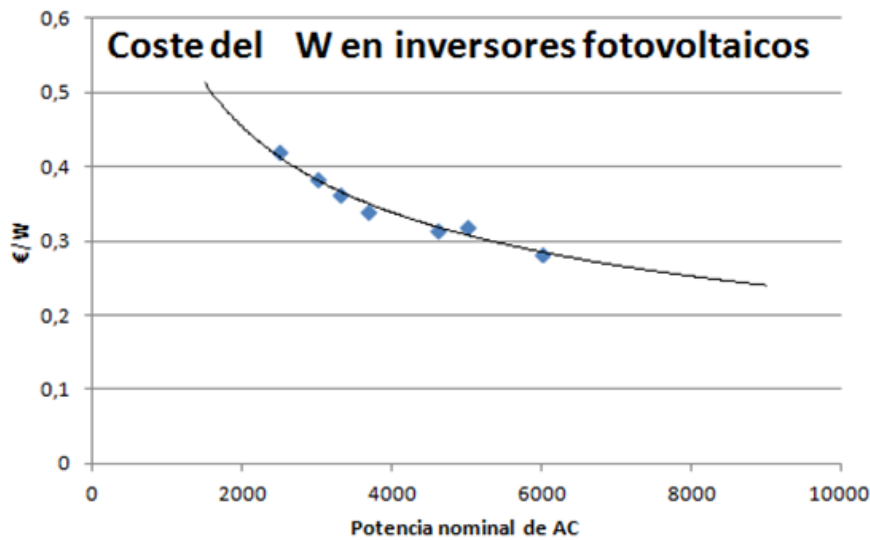


Figura 21: Evolución del precio por W según la potencia nominal de AC

Con la eficiencia también sucede algo parecido pero a la inversa, a más potencia, mayor es la eficiencia del inversor.

Por lo tanto es difícil realizar una estimación del precio de un convertidor que tuviera las características necesarias ya que no existe mercado de convertidores para este tipo de aplicaciones.

Consultando con un fabricante de inversores, el precio que podría llegar a tener un convertidor con las características necesarias para este tipo de sistemas sería de 0,4 €/W. Este dato coincide con la estimación realizada basándose en los inversores fotovoltaicos que se encuentran en la actualidad en el mercado y contando con que los convertidores para esta aplicación fueran implantados en el mercado con una buena aceptación.

3.2.3 Sensores de corriente

El sensor de corriente tiene la función de medir la corriente en un punto del circuito y con el valor obtenido, realizar el control de la corriente demandada a la red. Se elige colocar el sensor a la salida del contador para así poder medir toda la corriente eléctrica que se demanda a la red.





En la actualidad para medir la corriente existen varios métodos [27]:

- Mediante la resistencia Shunt. Esta resistencia es de gran precisión y baja resistencia, usualmente por debajo de 1ohmio, que se conecta en serie con la carga. Midiendo la tensión en los bornes de la resistencia se calcula la corriente que circula por ese punto del circuito.
- Usando un sensor de efecto hall. Son muy precisos y ofrecen una relación lineal entre la corriente y el voltaje de salida del sensor y pueden medir corriente continua y alterna. Son dispositivos muy caros.
- Otro método es utilizando un transformador de corriente (TC). Este sensor de corriente utiliza un transformador especialmente fabricado, con una sola bobina y haciendo pasar por el medio el alambre conductor de la corriente. De esta forma el campo magnético que se genera alrededor de un conductor por el cual circula una corriente alterna, produce una inducción magnética en la bobina y ésta a su vez un voltaje que se puede medir y así tener la relación de corriente. Existen en el mercado muchos tipos de TC, los cuales varían conforme a la corriente que pueden medir.

Para el sistema propuesto se utilizará un sensor que sea capaz de medir corrientes en AC a la entrada del suministro al consumidor individual. Este sensor tiene que tener la capacidad de medir un máximo de 20 A ya que esta corriente es la que suministrará la red en el caso de tener contratada la potencia que tiene la vivienda en el sistema inicial. Si se disminuye la potencia contratada esta corriente será siempre menor.

Para la elección del sensor adecuado, se valoran en la siguiente Tabla las características más importantes de dos sensores del tipo TC. Los dos son de tipo no invasivo, lo que significa que se pueden fijar en torno a la línea de alimentación de una carga eléctrica sin ningún tipo de contacto con ella.

	
Split Core Current Transformer ECS1030-L72	LEM AC Current transducer AT 20 B5
Precio: 12,37 €	Precio: 44,62 €
Corriente de medida máxima: 30A	Corriente de medida máxima: 20 ^a
Precisión: aprox. 2%	Precisión: < ± 1.5 % of I _{PN}
Tabla 12: Comparativa entre dos sensores de corriente [28]	

Ambos sensores tienen características muy similares. Sin embargo para esta aplicación el sensor de la marca LEM se adapta mejor a las corrientes que se van a medir y aunque el precio sea un poco superior, dada la gran vida útil que tienen estos sensores, no supondrá un coste anual elevado.

3.2.4 ICP

El interruptor de Control de Potencia (ICP) es un interruptor magnetotérmico automático que instala la compañía distribuidora de energía eléctrica al inicio de la instalación eléctrica de cada vivienda y que controla la potencia consumida por el cliente en cada momento, de tal forma que, cuando dicha potencia consumida supera la potencia contratada, entra en acción automáticamente cortando el suministro eléctrico [29].

En España el ICP está regulado por la norma UNE 20317, que define la curva de disparo, es decir, el tiempo de disparo en función de la sobrecorriente.

Curva I/t de Interruptores de Control de Potencia

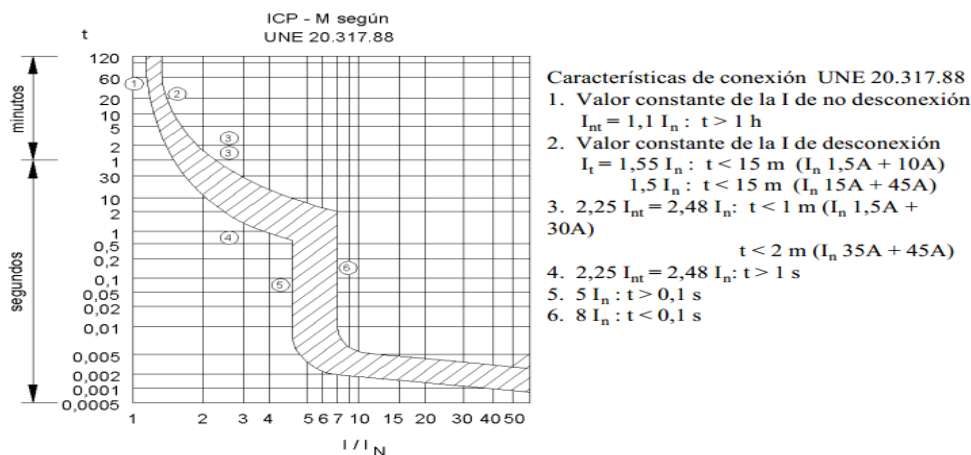


Figura 22: Características y curva de disparo del ICP [29]



En la curva de disparo (Figura 22) se muestra como dependiendo del tiempo durante el que se trabaje con una corriente mayor a la nominal, el ICP se mantiene sin cortar el suministro.

3.2.5 Contador

El contador mide la cantidad de energía consumida por el usuario. Es un elemento obligatorio en toda instalación eléctrica conectada a la red ya que se necesita saber la cantidad de energía que se ha consumido para la facturación de la misma. Es de especial importancia en sistemas con tarifas de discriminación horaria, puesto que el contador será el que determine la cantidad de energía consumida en cada periodo horario.

Estos dispositivos en general se alquilan a la compañía suministradora junto con el ICP con un precio fijo denominado “Alquiler de equipo de medida”. En el análisis económico no se analizará su coste porque ya se encuentran en el sistema inicial debido a que son obligatorios, por lo que no va a influir su precio en la determinación del posible ahorro económico que suponga el sistema propuesto.

3.2.6 Cuadro general de mando y protección

El cuadro general de mando y protección es donde se encuentran los elementos de protección del circuito eléctrico de la vivienda [30]. Estos elementos son:

- Interruptor General Automático (IGA): Es un interruptor magnetotérmico encargado de proteger frente sobrecargas o cortocircuitos la instalación interior de la vivienda al completo.
- Interruptor Diferencial (ID): Se trata de un interruptor de protección frente a fugas de corriente en la instalación.
- Pequeños Interruptores Automáticos (PIAs): Los PIAs son interruptores automáticos magnetotérmicos cuya función es proteger frente posibles fallos de sobrecarga y cortocircuito.

Al igual que en el caso del ICP y el contador, estos elementos ya se encuentran en la instalación de la vivienda, por lo que no se analizarán sus características o precio ya que no serán un valor añadido para la instalación propuesta.





4. Estrategias

4.1 Introducción

Para la puesta en funcionamiento del sistema propuesto, se necesita valorar cual debe ser el tamaño de las baterías necesario para que los picos que no va a suministrar la red debido a la reducción del término de potencia, los pueda dar la batería en cualquier momento.

Existen diferentes estrategias posibles para el funcionamiento de las baterías dentro del sistema propuesto y cada una de ellas llevará a determinar una capacidad de batería u otra. En este caso se valorarán dos y se determinará si supondría un ahorro económico la implantación de la instalación completa para llevar a cabo cada estrategia.

La primera de las estrategias es suponer que la batería se descargará en los momentos en los que la red no sea capaz de suministrar los picos de potencia demandados por las cargas, y se cargará en cuanto la potencia demandada por las cargas sea inferior a la que es capaz de suministrar la red eléctrica.

La segunda estrategia consiste al igual que la primera en descargar la batería en los momentos de mayor consumo, esto es, cuando la red no pueda suministrar cierta potencia. La diferencia en este caso vendrá en el momento de cargarla. Se esperará a las horas de facturación denominadas horas valle para así disminuir el precio por la energía que se almacena en las baterías. Además en este caso si existe la posibilidad debido al dimensionado, se intentará que la batería se descargue durante las horas valle hasta los límites máximos y así reducir la energía consumida en las horas punta. A esta estrategia se le denomina desplazamiento de cargas, y sería necesario un regulador con un control determinado para hacer funcionar de la manera que se desea a las baterías.

Al realizar el análisis energético de la vivienda se ha podido comprobar que el consumo en horas valle es superior al de las horas punta, por lo que tendría sentido suponer que la vivienda tiene la facturación contratada con DH. Esta suposición se debe al ahorro que supone en el término de energía el hecho de tener DH con un porcentaje de consumo en horas valle mayor que el 30% del consumo total. Esta conclusión se puede comprobar realizando un cálculo aproximado del término de energía medio teniendo en cuenta el porcentaje de consumo en horas valle y en horas punta.

Dicho análisis se muestra en la siguiente Tabla.

Consumo en horas punta (%)	Consumo en horas valle (%)	Término de energía medio con DH [€]	Término de energía medio sin DH [€]	Tarifa más económica	Ahorro (%)
100	0	0,148832	0,124107	Tarifa Sin DH	0
90	10	0,1397483	0,124107	Tarifa Sin DH	0
80	20	0,1306646	0,124107	Tarifa Sin DH	0
70	30	0,1215809	0,124107	Tarifa DH	2,03542105
60	40	0,1124972	0,124107	Tarifa DH	9,35466976
50	50	0,1034135	0,124107	Tarifa DH	16,6739185
40	60	0,0943298	0,124107	Tarifa DH	23,9931672
30	70	0,0852461	0,124107	Tarifa DH	31,3124159
20	80	0,0761624	0,124107	Tarifa DH	38,6316646
10	90	0,0670787	0,124107	Tarifa DH	45,9509133
0	100	0,057995	0,124107	Tarifa DH	53,270162

Tabla 13: Ahorro económico con tarifa DH

A pesar de que la contratación de una tarifa con DH supondría un ahorro económico importante en la factura eléctrica de muchas viviendas, en la mayoría de viviendas no se conoce la proporción del consumo en horas valle y por lo tanto no se conoce el posible ahorro y se mantiene la tarifa sin discriminación. Por lo tanto para el análisis se supondrá una vivienda con una tarifa contratada sin DH. Eso sí, al implantar el sistema propuesto habría que contratar la tarifa con DH y de ahí vendrá una parte del ahorro económico, independientemente de bajar el termino de potencia o no.

4.2 Estrategia inicial

4.2.1 Condiciones previas

Una vez realizado el análisis energético anual de la vivienda, se puede analizar cuánto se podría reducir la potencia contratada. Teniendo en cuenta que la vivienda tiene contratada una potencia de 4,6 kW y que su consumo máximo ronda esa cifra en el análisis, las potencias normalizadas que se podrían considerar contratar serían las de 1,15 kW, 2,3 kW y 3,45kW.



Estas potencias se han denominado potencias factibles, ya que son las que tendría sentido contratar para disminuir la potencia contratada.

Para realizar el análisis se utilizará el programa de cálculo numérico y programación Matlab, que ayudará a determinar los tamaños de baterías para cada caso de potencia contratada.

Para la realización de los cálculos que determinaran las dimensiones de las baterías se tiene en cuenta que la tecnología de baterías que se usará en el sistema es plomo-ácido. Esto supone que las baterías tendrán unos determinados rendimientos de carga y descarga. Se supondrá un rendimiento de carga del 100% y un rendimiento de descarga del 80%.

El hecho de tener un rendimiento de descarga del 80% provocará un aumento de la energía consumida de la red ya que para tener disponible cierta cantidad de energía que se demanda por la vivienda, habrá que almacenar en la batería un 25% más.

Los rendimientos por lo tanto provocarán que la energía que se saca de las baterías sea mayor que la que realmente consumirán las cargas instaladas en la vivienda. Esto obliga a definir dos variables diferentes para la energía de las baterías, una denominada Energía_Bateria y otra Energía_Bateria_SOC. La primera hace referencia a la energía que llega a las cargas desde la batería y la segunda es la energía que hay que extraer de las baterías para que, teniendo en cuenta el rendimiento, a las cargas llegue la energía que demandan.

Esto se muestra de manera más clara en la Figura 23.

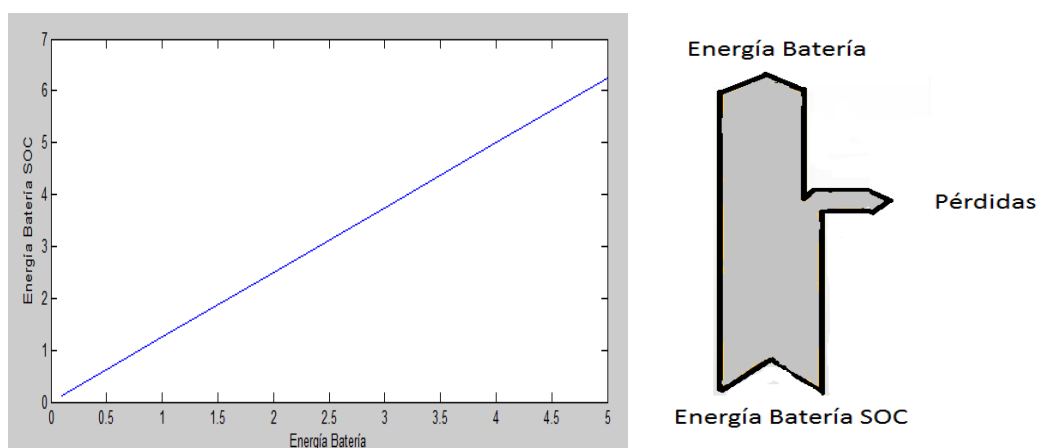


Figura 23: Importancia del rendimiento en la descarga de las baterías

Otro aspecto que definirá el tamaño (capacidad) de las baterías es la profundidad de descarga. En este caso se supondrá del 90% de su capacidad nominal ya que de otra manera existe la posibilidad de que con un consumo ligeramente mayor y en cualquier caso, por el hecho de llegar a descargarse del todo, su vida útil se vea disminuida considerablemente.

4.2.2 Cálculo del tamaño de las baterías

Una vez definidos los aspectos más importantes de las baterías para su dimensionado, se simula qué ocurre con la potencia de red y la potencia que tienen que dar las baterías para cada caso de reducción de potencia. Además de estas variables en las siguientes Figuras se muestra también la potencia que consume la vivienda para tener una perspectiva más significativa de lo que realizan las baterías. Hay que tener en cuenta que la potencia de las baterías cuando se están cargando se define como positiva y cuando se están descargando como negativa.

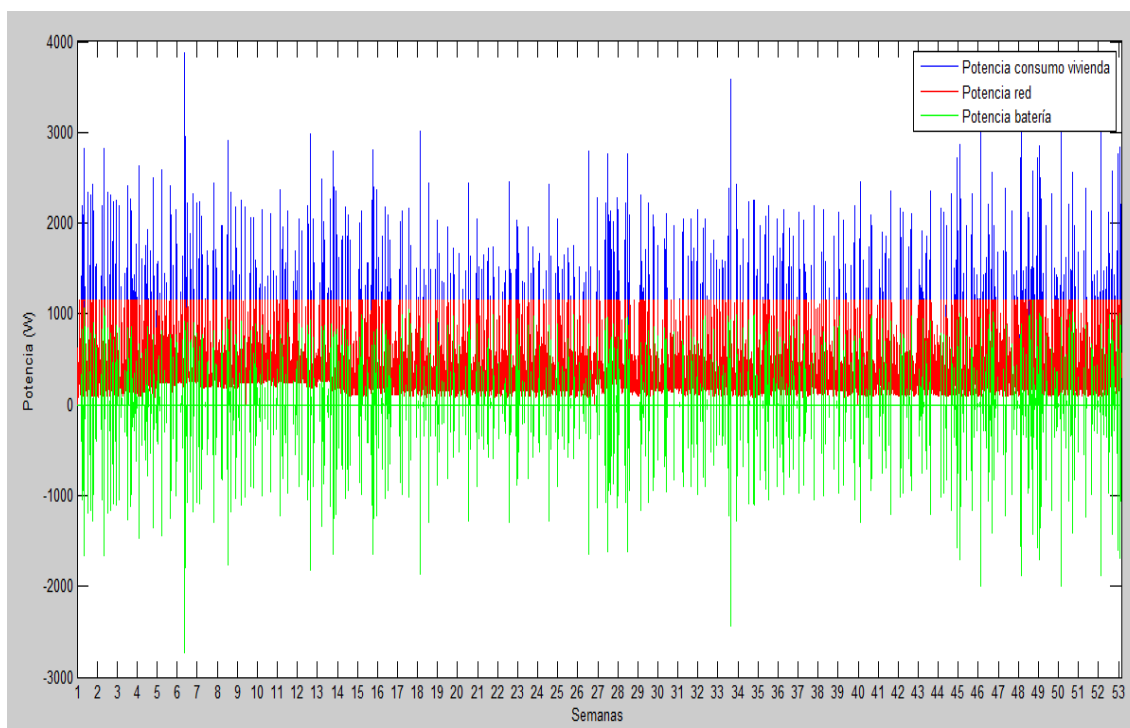


Figura 24: Potencia contratada de 1,15 kW

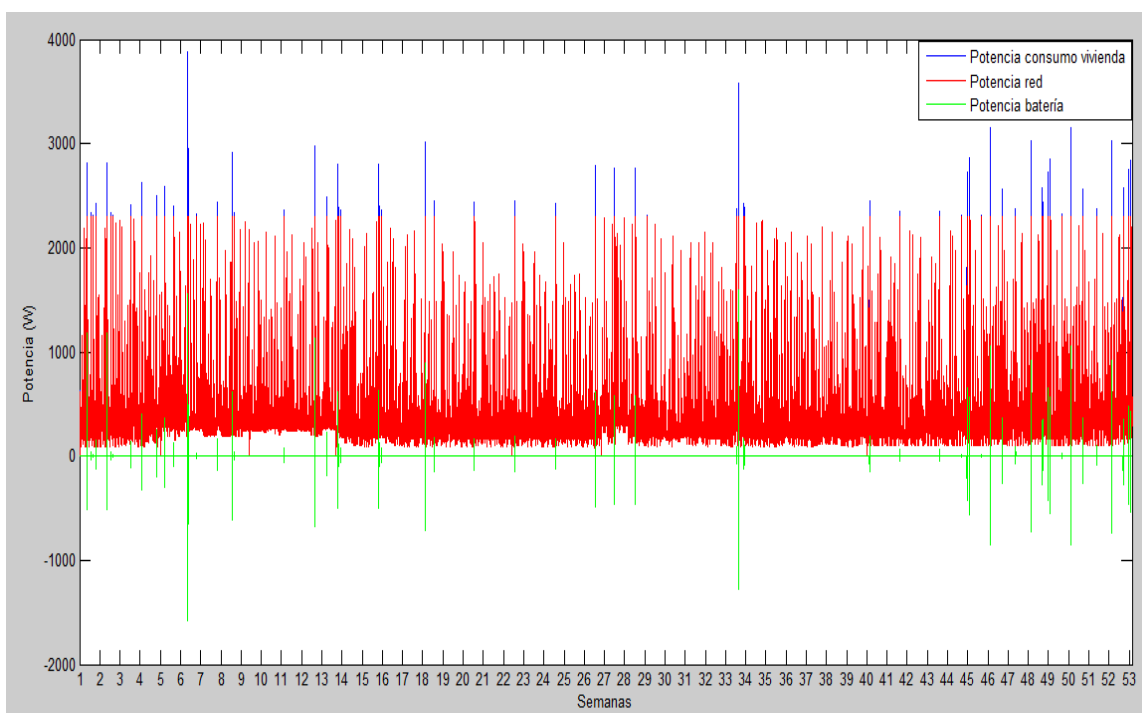


Figura 25: Potencia contratada de 2,3 kW

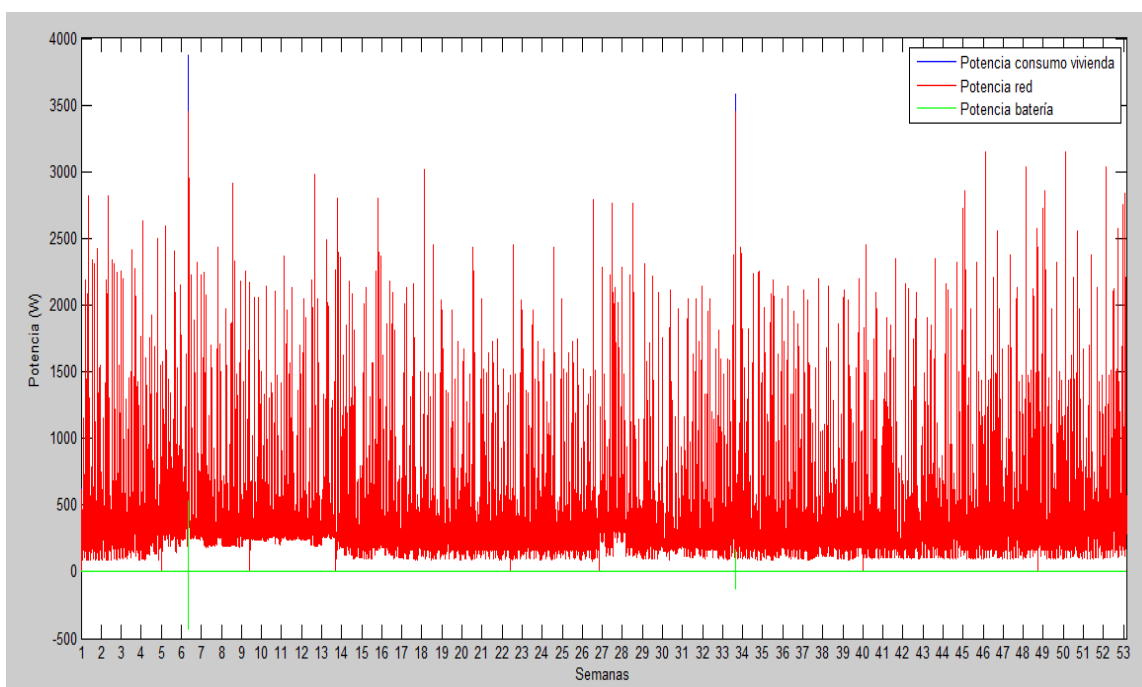


Figura 26: Potencia contratada de 3,45 kW

Una vez obtenidas las potencias, se determinan las energías con las que trabajarán las baterías y la red. Teniendo en cuenta la energía máxima que necesita la batería se obtiene el tamaño requerido en Wh. En el cálculo se ha tenido en cuenta que la máxima DOD tiene que ser del 90%.



En el dimensionado de las baterías hay que tener en cuenta también la potencia máxima que tienen que ser capaces de dar, que es la diferencia entre la potencia contratada por la vivienda en el supuesto que no tuviera sistema de almacenamiento y la potencia que se contrata para trabajar con el sistema de almacenamiento.

$$\Delta P = P_{\text{contratada sist. inicial}} - P_{\text{contratada sist propuesto}}$$

Este dimensionado ayudará a limitar la corriente con la que se descargarán las baterías y por lo tanto su vida útil y eficiencia. Conociendo ΔP , la capacidad de batería necesaria en Ah tiene que ser mínimo igual a la diferencia entre las dos potencias entre la tensión en bornes de la batería (V_{bat}) [31].

$$C_{\text{bat}}[\text{Ah}] \geq \Delta P / V_{\text{bat}} \quad (1)$$

Teniendo en cuenta que la capacidad de la batería en Ah multiplicado por la tensión en bornes de la batería es la energía total que tienen que almacenar las baterías ($E_{\text{bat}}[\text{Wh}] = C_{\text{bat}}[\text{Ah}] \cdot V_{\text{bat}}$) (2), se concluye que el tamaño de batería necesaria en Wh realizando el análisis por potencia es el siguiente:

$$E_{\text{bat}}[\text{Wh}] = \Delta P[W] \quad (3)$$

Potencia contratada [kW]	1.15	2.3	3.45
Tamaño batería por potencia [Wh]	3450	2300	1150
Tamaño batería por energía [Wh]	4769,3	547,4	148,1

Tabla 14: Dimensionado de batería por potencia y energía

Una vez analizados los dos posibles factores que tienen influencia en el tamaño de las baterías, se elegirá el más restrictivo. El sistema de baterías que se elegirá es un sistema con una tensión nominal de 48 V, por lo que se puede obtener fácilmente los Ah necesarios de las baterías como se muestra en la Tabla 15.

Potencia contratada [kW]	1,15	2,3	3,45
Tamaño batería [Wh]	4769,3	2300	1150
Tamaño batería [Ah]	99,36	47,91	23,95

Tabla 15: Tamaños de baterías obtenidos en el análisis anual



Se propone realizar una asociación serie de las baterías por lo que será necesario comprar 4 baterías de 12 V cada una y de los siguientes Ah que se indican en la Tabla 15 para cada caso de potencia contratada.

Como se puede comprobar, en los dos casos con mayores potencias contratadas el factor restrictivo a la hora de dimensionar la batería ha sido la potencia que tienen que ser capaces de suministrar.

Realizando el mismo análisis pero para los datos de consumo de una semana, esto es, para datos cada 1 segundo, el tamaño de batería que se obtiene está limitado por la potencia y no por la energía, ya que por energía los tamaños de batería son menores que los de potencia y incluso que los de energía en el análisis anual.

Por lo tanto, con el análisis anual se obtienen tamaños de batería más restrictivos o iguales, por lo que se realizará el resto del análisis con los datos anuales.

Con los datos anuales se comprobará si la batería cumple con algunos de los requisitos necesarios para su correcto funcionamiento y para alargar la vida útil.

4.2.3 Características de funcionamiento del sistema de baterías

Uno de los requisitos del sistema de baterías es que no permanezca durante largos tiempos por debajo del 30% de carga ya que esto puede originar la sulfatación de la batería y por lo tanto su fallo.

El estado de carga, o en términos de porcentaje el SOC (State of charge), mostrará la capacidad disponible de una batería, y de ahí se podrá ver durante cuánto tiempo está por debajo del límite marcado. En las Figura 27, Figura 28 y Figura 29 se muestran los diferentes SOC para cada batería a lo largo del año de estudio.

Para la estimación del SOC de cada batería se ha tomado que la capacidad de la batería se mantiene invariable durante toda su vida útil y que es independiente de con que corriente se descargue. Esto no ocurre así en la realidad ya que las baterías de plomo-ácido pierden capacidad a lo largo de su vida y además no pueden suministrar toda su energía disponible si se descargan con ciertas corrientes.

Esta relación entre la corriente con la que se descarga y la energía máxima que puede dar (capacidad máxima) se describe mediante la ley de Peukert [32]. Esta ley indica que a mayores corrientes de descarga, menor es la capacidad de la batería, o en otras palabras, menor es la energía máxima que se puede extraer de la batería. Esto no quiere decir que en la



batería no quede todavía energía, pero el hecho de descargarla con tanta corriente (mayor rapidez de descarga) imposibilita la extracción debido a la caída de tensión que sufre la batería en estas condiciones. El voltaje de una batería no puede bajar de un determinado límite ya que la batería necesita un voltaje mínimo para poder trabajar. Por lo tanto, la capacidad se ve afectada por la caída de tensión que provoca la resistencia interna de la batería, ya que su valor aumenta conforme la batería se descarga.

Este fenómeno ocurre en todas las baterías de plomo-ácido y por ello cada fabricante suele dar la capacidad de la batería en función de las horas durante las que se quiera descargar la batería sin llegar a reducir la tensión hasta el mínimo, Tabla 16. El dato de capacidad que suministran los fabricantes de baterías se denominan con una C (Capacity, en Ah) y va seguida de un subíndice numérico que indica las horas de descarga máximas. Dividiendo la capacidad de la batería entre las horas de descarga se obtiene la corriente máxima con la que se puede descargar cada batería durante ese tiempo.

Model	VdS	Nominal voltage (V)	Capacity (Ah)			
			Discharge 20 h rate 1.75V/cell	Discharge 10 h rate 1.75V/cell	Discharge 5 h rate 1.70V/cell	Discharge 1.5 h rate 1.60V/cell
FG20086		12	0.8	0.72	0.63	0.53
FG20121	●	12	1.2	1.06	0.98	0.8
FG20121A	●	12	1.2	1.08	1.0	0.78
FG20201	●	12	2.0	1.83	1.65	1.37
FG20271		12	2.7	2.43	2.25	1.76
FG20341		12	3.4	3.0	2.9	2.2
FG20451		12	4.5	4.1	3.8	3.0
FG20721/2	●	12	7.2	6.7	6.0	5.0
FG21201/2	●	12	12	11.3	10	8.4
FG21703	●	12	17	15.5	13.9	11.2
FG21803		12	18	16.9	15	12.7
FG22703	●	12	27	24.4	22.1	18.4
FG24204	●	12	42	37.9	34.4	28.5
FG27004	●	12	70	64.4	58.5	47.4

Tabla 16: Datos de capacidad de baterías Fiamm FG [18]

Se han desarrollado muchos métodos más precisos para el cálculo del SOC que tienen en cuenta la relación entre la corriente de descarga y el tiempo de duración de la descarga pero son métodos muy complejos para este análisis y por ello no se han tenido en cuenta en la simulación.

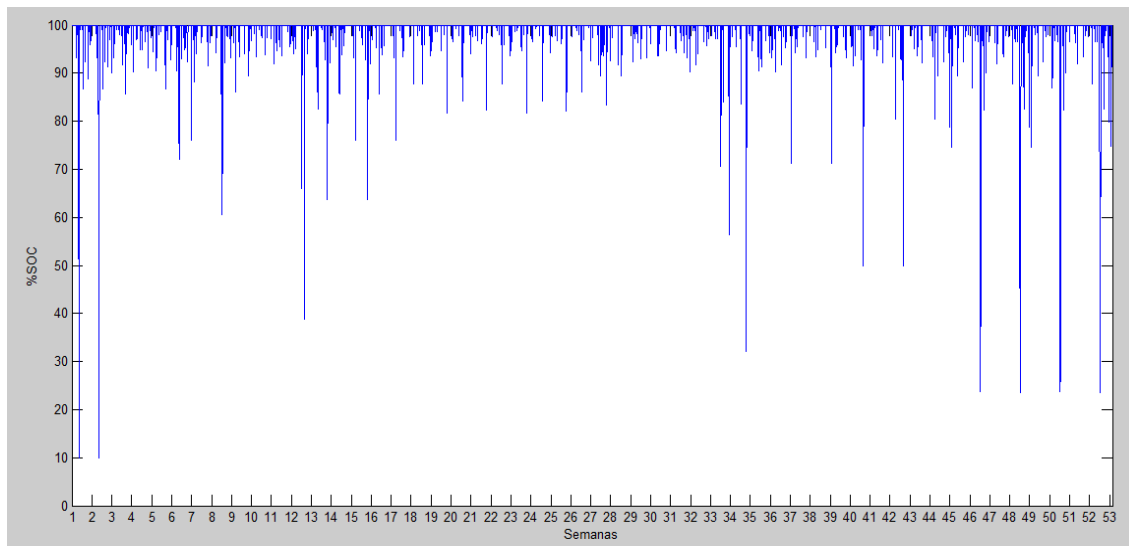


Figura 27: SOC de la batería que se utiliza si se contrata de potencia 1,15 kW

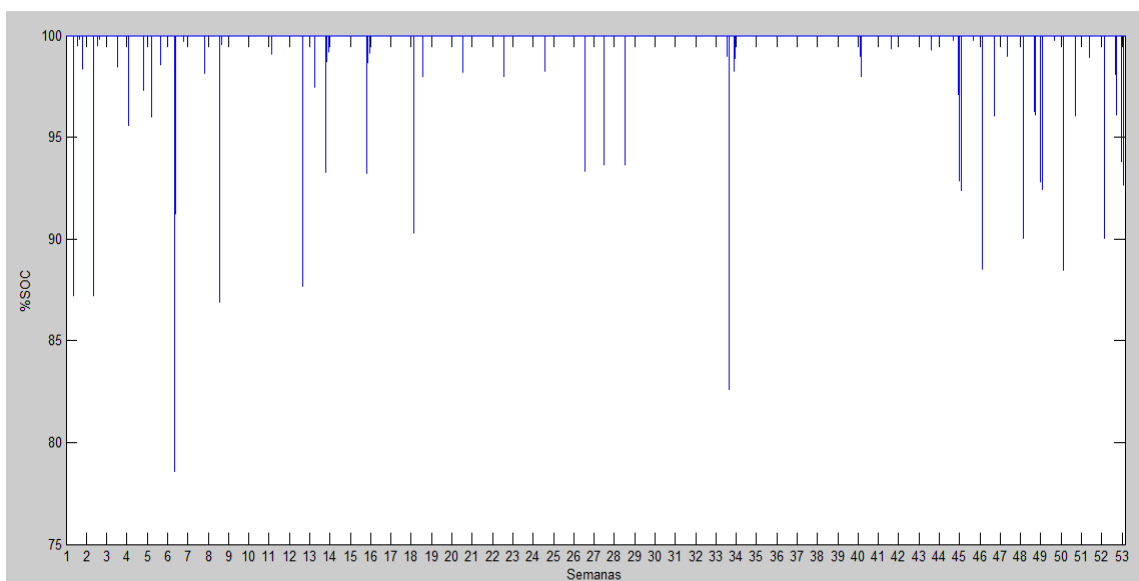


Figura 28: SOC de la batería que se utiliza si se contrata de potencia 2,3 kW

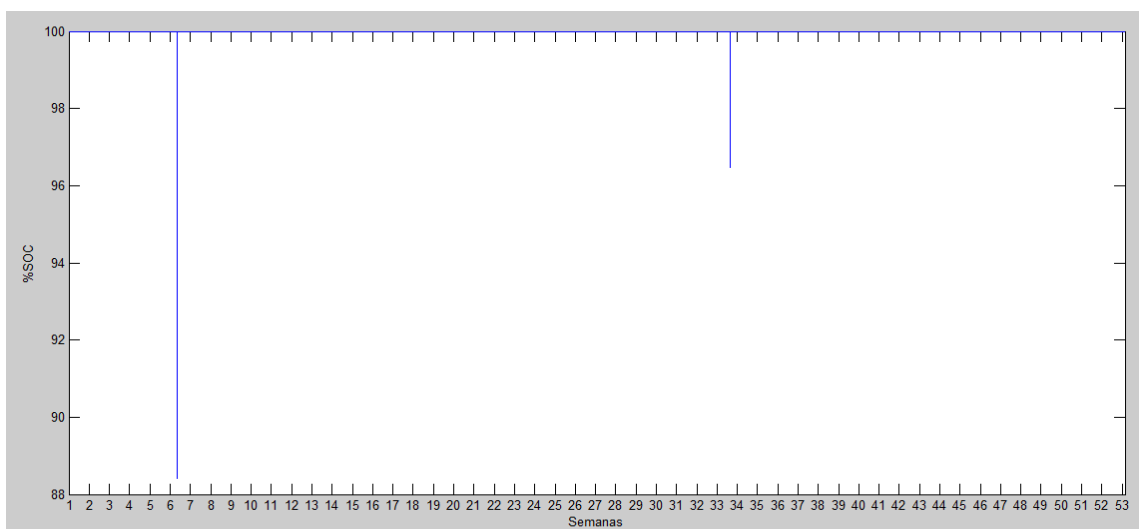


Figura 29: SOC de la batería que se utiliza si se contrata de potencia 3,45 kW

Como se puede comprobar, solo en el caso de la batería para el sistema con potencia contratada de 1,15 kW se supera el límite de bajar del 30% del SOC. El tiempo que está por debajo de dicho límite no es en ningún caso superior a los 105 minutos, por lo que este no será un factor determinante en la vida útil de la batería ni en su disminución de capacidad.

Además es conveniente que las baterías no se queden durante largos periodos en una cierta carga sin llegar a estar cargadas del todo. Realizando dicho análisis se obtienen las mismas conclusiones que para el caso anterior, esto es, que la batería vuelve a su estado inicial de carga total en cortos periodos de tiempo.

Uno de los factores críticos de las baterías, y que puede llegar a determinar la vida útil de las baterías, es el número de descargas que sufren, y lo más importante, con qué profundidad se hacen dichas descargas. En las siguientes figuras (Figura 30, Figura 31 y Figura 32) se muestra para cada caso de potencia contratada el número de ciclos de descarga a los que se ven sometidas y la profundidad de cada uno de ellos.

La vida útil a su vez influirá considerablemente en el precio anual del sistema propuesto y por lo tanto en la determinación de si existiría ahorro económico o no.

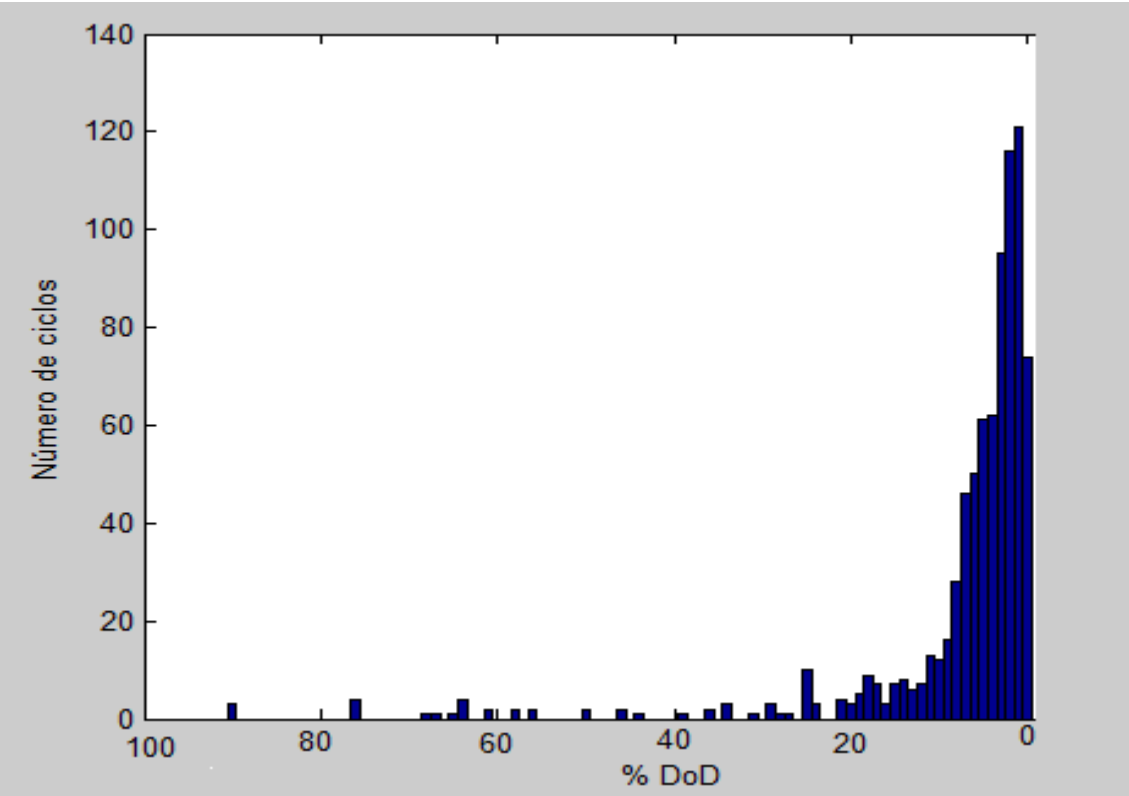


Figura 30: Histograma de profundidades de descarga para potencia contratada 1,15 kW

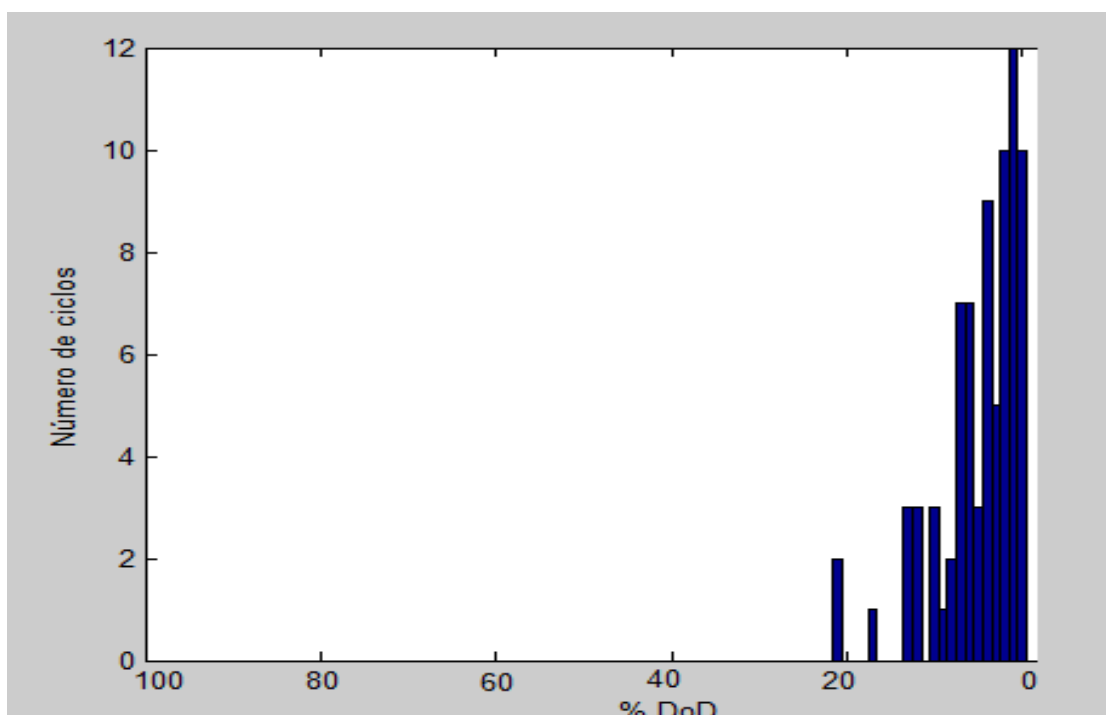


Figura 31: Histograma de profundidades de descarga para potencia contratada 2,3 kW

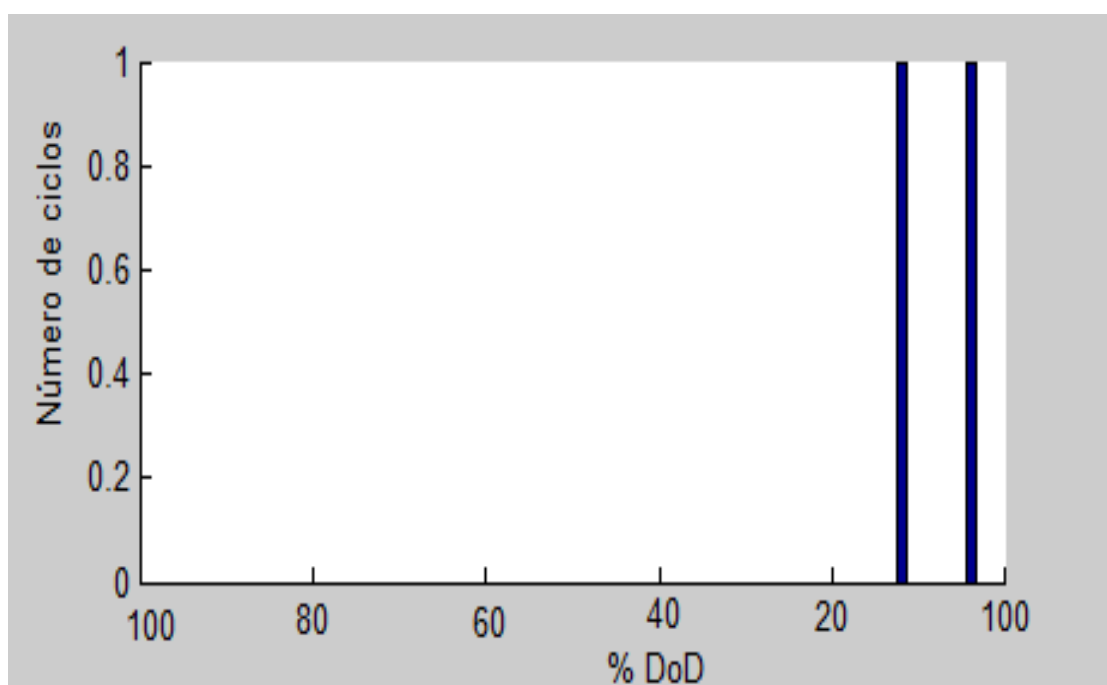


Figura 32: Histograma de profundidades de descarga para potencia contratada 3,45 kW

Las profundidades máximas de descarga a los que se ven sometidas las baterías para los casos de potencia contratada de 1,15 kW, 2,3 kW y 3,45 kW son respectivamente del 90%, 21,41% y 11%.



El caso que más ciclos de descarga anuales presenta es el de potencia contratada 1,15 kW con un número de ciclos de 802. Además la profundidad de descarga máxima es el límite que se ha marcado, esto es 90%. Esto significa que la batería sufrirá bastante y su vida útil se verá limitada.

En los otros dos casos el número de ciclos es de 77 y 2, y la profundidad de descarga no es excesivamente alta, ya que las baterías se han dimensionado por energía potencia y no por energía.

4.2.4 Cálculo de los costes anuales de los elementos del sistema propuesto

El ahorro que se puede obtener al bajar la potencia contratada es el máximo que se podría invertir para no tener pérdidas económicas en los componentes del sistema propuesto que no se encontraban en el sistema inicial, es decir, en el sistema de baterías, sensor de corriente y convertidor. Esta cantidad es anual, por lo que es importante que los precios del convertidor, sensor de corriente y las baterías hagan referencia a lo que costaran anualmente teniendo en cuenta la inversión que se realiza y los años de vida útil que tienen.

4.2.4.1 Sistema de baterías

Para las baterías, el coste anual vendrá dado por su precio, que depende de su capacidad y de su vida útil. Es necesario para ello seleccionar una batería concreta para cada caso. De las baterías analizadas en el apartado anterior, las que se han considerado más adecuadas teniendo en cuenta el número de ciclos anuales a los que va a ser sometida y el precio son las que se muestran en la Tabla 18.

Para la determinación de la vida útil de las baterías dependiendo los ciclos a los que se ven sometidas se realizan diferentes aproximaciones.

El caso más complejo es el de potencia contratada de 1,15 kW ya que el número de ciclos anuales es de 802 y lo máximo que da la batería es de 1800 con una profundidad de descarga del 20%. Como se ha comprobado en apartados anteriores, no todos los ciclos son de la misma profundidad, por lo que es necesario referir todos los ciclos a una profundidad de descarga determinada para realizar el cálculo de la vida útil, lo que se ha denominado ciclo equivalente. Para ello, se toma cada ciclo con profundidad menor al 30% como un ciclo equivalente y para el resto se realiza una estimación de a cuantos ciclos equivalentes correspondería.

% DOD	Nº de ciclos	Estimación de ciclos equivalentes	Ciclos totales
0-30	771	$1800/1800=1$	771
30-50	10	$1800/750=2,4$	$2.4*10=24$
50-70	19	$1800/500=3,6$	$3.6*19=69$
70-100	2	$1800/250=7,2$	$7.2*2=15$
Estimación de ciclos al DOD 30%: 879 ciclos equivalentes			
<i>Tabla 17: Ciclos equivalentes batería de potencia contratada 1,15kW</i>			

Por lo tanto anualmente esta batería realizará 879 ciclos equivalentes al 30% de profundidad de descarga, por lo que su vida útil se puede aproximar a 2 años.

Para el caso de 2,3 kW, realizando un cálculo de los ciclos máximos que podría funcionar realizando 77 ciclos de profundidad del 20% (no ocurre en la realidad, la mayoría de ciclos tienen menor profundidad), la aproximación da unos 20 años de vida útil. Esta aproximación no será correcta ya que las baterías de este tipo (AGM Victron Energy) tienen una duración de entre 7 y 10 años a una temperatura de 20 °C [15]. Por lo tanto se determina que la vida útil será de 7 años teniendo en cuenta el caso más pesimista de vida útil que proporciona el fabricante.

Para el caso de 3,45 kW contratados, al ser solo dos ciclos anuales y de poca profundidad se determina la vida útil como la vida útil en flotación para la que se ha diseñado, esto es, 5 años.

Potencia contratada [kW]	1,15	2,3	3,45
Nº de ciclos anuales	802	77	2
%DOD máxima	90%	21,41%	11%
Estimación de ciclos al DOD 30%	879 ciclos	-	-
Tamaño batería [Ah]	99,36	47,91	23,95
Batería seleccionada	Victron Energy GEL BAT412101100 110Ah	Victron Energy AGM BAT412550080 60Ah	Fiamm FG22703 AGM 27Ah
Vida útil	2 años	7 años	5 años
Precio baterías [€]	4x250=1000	4x134=536	4x74,9=299,6
Coste anual [€/año]	500	76,57	59,92

Tabla 18: Características baterías seleccionadas

4.2.4.2 Sensor de corriente

En el caso del sensor de corriente, el coste anual es muy pequeño, de unos 2,97 €, ya que el precio del sensor es de 44,62 € y su vida útil al no tener partes móviles se puede aproximar a la mayor vida útil del resto de dispositivos, esto es, a 15 años como el convertidor.

4.2.4.3 Convertidor

En el caso del convertidor, para saber su tamaño mínimo, se parte del supuesto realizado anteriormente de que la vivienda tiene contratados 4,6 kW de potencia, por lo que al bajar el término de potencia se necesitará como mínimo la diferencia entre la potencia contratada por el sistema sin baterías (4,6 kW) y la potencia contratada por el sistema propuesto. Este cálculo queda en cada caso con el valor que se muestra en la Tabla 19 junto con otras características de los convertidores.

Como ya se ha explicado en el análisis de los inversores que existen en la actualidad, el precio del convertidor se estima en 0,4 €/W.

Potencia contratada [kW]	1,15	2,3	3,45
Tamaño mínimo del convertidor [kW]	3,45	2,3	1,15
Vida útil	15 años	15 años	15 años
Precio convertidor [€]	$0.4 \cdot 3450 = 1380 \text{ €}$	$0.4 \cdot 2300 = 920 \text{ €}$	$0.4 \cdot 1150 = 460 \text{ €}$
Coste anual [€/año]	92	62	31

Tabla 19: Características convertidores seleccionados

4.2.5 Coste de la factura eléctrica

Para calcular el ahorro que supone bajar el término de potencia, primero se calcula la factura eléctrica anual que tiene la vivienda. En la Tabla 20 se muestra dicha factura teniendo en cuenta las distintas tarifas presentadas anteriormente.

Comercializadora Tarifa	Tarifa PVPC	Iberdrola	Som Energia	Endesa
2.0A	752,12 €	722,95 €	728,97 €	715,16 €
2.0DHA	672,18 €	647,42 €	649,60 €	652,41 €

Tabla 20: Factura eléctrica de la vivienda

Realizando los mismos cálculos para el sistema propuesto, se consigue una disminución del precio de la factura debido a la bajada del término de potencia. Esta bajada no es exactamente la multiplicación de la potencia que se deja de contratar por el valor de la potencia. Esta no linealidad es debida a que al poner el sistema de baterías hay que tener en cuenta que se consumirá más energía debido al rendimiento de carga y descarga de éstas. Dichos rendimientos por lo tanto supondrán un aumento ligero del término de energía.

Este aumento de energía consumida por el sistema se puede ver calculando la energía que suministra la red para cada caso y comparándola con la que suministra a la vivienda en el supuesto inicial de que la vivienda no cuenta con el sistema de baterías.

Consumo sin baterías	3206,5 kWh	% sobre el valor sin batería
Consumo con baterías(Potencia contratada 1,15 kW)	3248,7 kWh	1,31%
Consumo con baterías(Potencia contratada 2,3 kW)	3208,1 kWh	0,05%
Consumo con baterías(Potencia contratada 3,45 kW)	3206,6 kWh	0,003%

Tabla 21: Consumo energético

El coste de la factura eléctrica que tendrá el nuevo sistema dependiendo de la potencia contratada y de la tarifa elegida se puede observar en la siguiente Tabla.

Comercializadora Tarifa	Tarifa PVPC	Iberdrola	Som Energia	Endesa
2.0A (Potencia contratada 1,15 kW)	574,28 €	563,50 €	559,76 €	555,61 €
2.0A (Potencia contratada 2,3 kW)	629,37 €	612,508 €	612,07 €	604,71 €
2.0A (Potencia contratada 3,45 kW)	690,60 €	667,61 €	670,41 €	659,82 €
2.0DHA (Potencia contratada 1,15 kW)	490,90 €	485,15 €	477,22 €	490,17 €
2.0DHA (Potencia contratada 2,3 kW)	538,26 €	526,92 €	522,06 €	531,91 €
2.0DHA (Potencia contratada 3,45 kW)	593,920 €	576,99 €	575,06 €	581,97 €
<i>Tabla 22: Factura eléctrica de la vivienda con sistema de baterías</i>				

Tomando como referencia la tarifa 2.0A, esto es, la de sin DH ya que lo más común en la actualidad es que las viviendas no la tengan contratada, el ahorro económico que supone el bajar la potencia contratada se muestra en la siguiente tabla.

Tarifa Potencia contratada	Tarifa PVPC	Iberdrola	Som Energia	Endesa
1,15 kW	261,22 €	237,80 €	251,74 €	224,99 €
2,3 kW	213,85 €	196,03 €	206,91 €	183,25 €
3,45 kW	158,20 €	145,96 €	153,90 €	133,19 €
<i>Tabla 23: Ahorro económico al bajar la potencia contratada</i>				

Hay que señalar que a todos los precios de la factura eléctrica se le ha aplicado el impuesto eléctrico y el IVA.

4.2.6 Cálculo final del ahorro económico

Teniendo en cuenta todos los elementos y el ahorro de la factura por bajar la potencia contratada, se puede calcular si habrá ahorro económico al instalar el sistema propuesto o por el contrario se perdería dinero. Para dicha determinación se toman las dos tarifas con las que mayor y menor ahorro se obtiene al bajar la potencia contratada. Estas tarifas como se puede observar en la Tabla 23 son la PVPC y la tarifa de Endesa respectivamente.

Potencia contratada [kW]	1,15	2,3	3,45
Ahorro anual en la factura eléctrica [€/año]	224,99	183,25	133,19
Coste anual sensor corriente [€/año]	-2,97	-2,97	-2,97
Coste anual baterías [€/año]	-500	-76,57	-59,92
Coste anual convertidor [€/año]	-92	-62	-31
AHORRO ECONÓMICO ANUAL [€/año]	-369,92	41,71	39,3

Tabla 24: Ahorro económico anual caso peor

Potencia contratada [kW]	1,15	2,3	3,45
Ahorro anual en la factura eléctrica [€/año]	261,22 €	213,85 €	158,20 €
Coste anual sensor corriente [€/año]	-2,97	-2,97	-2,97
Coste anual baterías [€/año]	-500	-76,57	-59,92
Coste anual convertidor [€/año]	-92	-62	-31
AHORRO ECONÓMICO ANUAL [€/año]	-333,75	72,31	64,31

Tabla 25: Ahorro económico anual caso mejor

Se puede valorar cuanto supone en porcentaje el precio de cada dispositivo al total del coste de todo el sistema propuesto. Esto se muestra en la Figura 33.

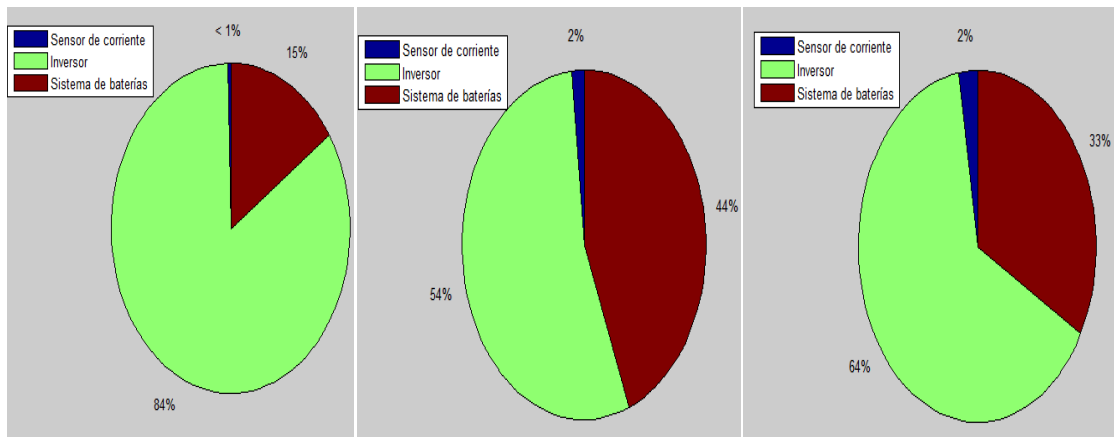


Figura 33: Distribución de los precios de los elementos del sistema propuesto

Como se puede ver en la figura anterior, en todos los casos el precio del convertidor constituye más del 50% del precio del sistema propuesto, por lo que cualquier reducción en su precio, hará variar de forma notable el ahorro obtenido.

4.3 Desplazamiento de cargas

4.3.1 Condiciones previas

Con el fin de aumentar el ahorro económico se propone además de la reducción de picos una estrategia que descargue las baterías durante las horas punta todo lo posible y las recargue una vez empezadas las horas valle. Para descargar todo lo posible las baterías pero no quedarse sin energía suficiente para hacer frente a los momentos en los que se demanda más potencia de lo que es capaz de dar la red, se guarda una banda de seguridad.

Se puede ver en la siguiente Figura como con este control, hasta que no se llega a las horas valle, no se podrá volver a cargar la batería. Se compara con la estrategia utilizada en el apartado anterior, donde no se dejaba descargar la batería si no era necesario y se podía cargar en cualquier momento en que la potencia requerida por la vivienda fuera menor que la que la red era capaz de dar.

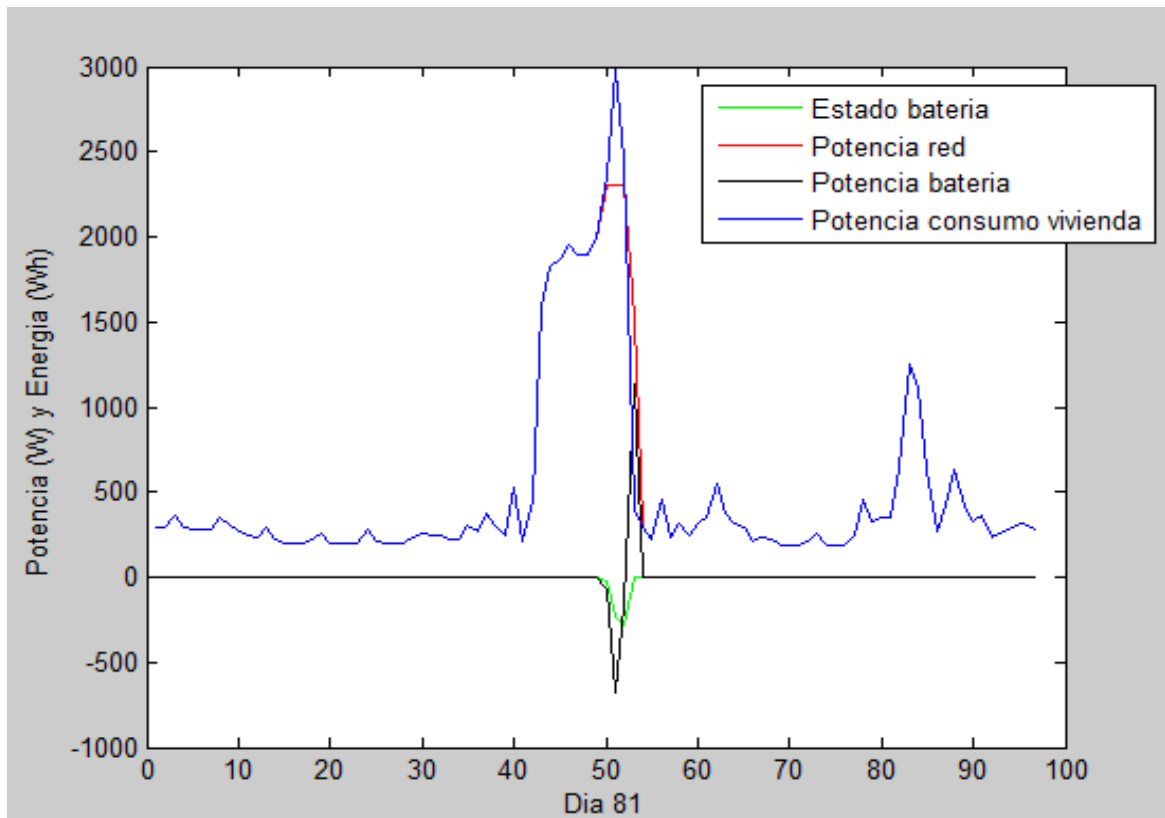


Figura 34: Sistema propuesto sin control de desplazamiento de cargas

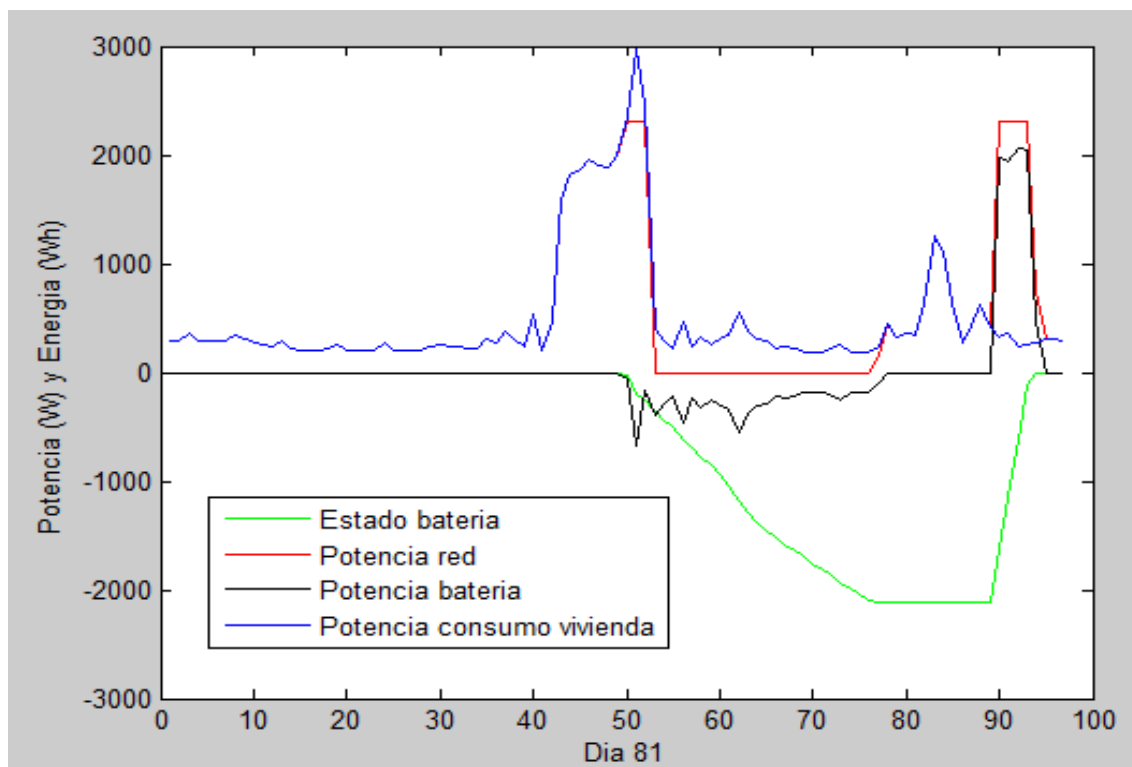


Figura 35: Sistema propuesto con control de desplazamiento de cargas



A esta estrategia que se seguirá en este análisis se le denomina desplazamiento de cargas y se parte del supuesto de que se tiene el mismo sistema que para la anterior estrategia, esto es, se mantienen los tamaños de las baterías. Por lo tanto, la banda de seguridad depende de lo máximo que se descargaban las baterías en el caso anterior.

Para las baterías en el caso de potencia contratada 1,15 kW, la descarga máxima llegaba al 90% (límite máximo permitido en el análisis), por lo que no se podrá realizar el desplazamiento de la carga debido a que no tienen banda suficiente para descargarse. Tampoco se podrá hacer que la batería solo se cargue en horas valle ya que puede ocurrir que una vez descargada hasta el 90% en instantes posteriores antes de la entrada en la tarifa valle, se vuelva a necesitar energía de las baterías porque el consumo supere al que la red puede llegar a dar.

Todos estos motivos llevan a descartar el aplicarle al escenario de potencia contratada de 1,15 kW la estrategia de desplazamiento de cargas. Una posible solución para poder trabajar en dicho sistema con desplazamiento de cargas sería sobredimensionar la batería y así tener mayor banda donde trabajar, pero viendo el coste anual que supone el sistema con dichas baterías con respecto a la reducción de la factura eléctrica, no es rentable dicho sobredimensionado.

En el resto de casos (potencia contratada de 2,3 kW y 3,45 kW), debido a las bajas profundidades de descarga con las que se descargaban las baterías, 21,41% y 11% respectivamente, esta estrategia podría ser una buena forma de ahorrar en la factura eléctrica.

4.2.3 Características de funcionamiento del sistema de baterías

Como se parte de las baterías elegidas para la estrategia anterior y por lo tanto se conoce su tamaño, se calcula cual será la banda en la que se puede descargar la batería durante las horas punta para asegurar que no baje del 90% de profundidad de descarga y que su vez sea capaz de suministrar energía si el consumo supera a la potencia máxima que puede dar la red.

Las energías máximas que pueden llegar a desplazar a las horas valle cada sistema se calculan de la siguiente manera.

$$(Tamaño\ de\ baterías\ (en\ Wh) * DOD_{máxima}) - mínimo\ estado\ de\ batería(en\ Wh)$$

Esto da como resultado las energías que se muestran en la Tabla 26.

Potencia contratada [kW]	2.3	3.45
Tamaño baterías [Ah y Wh]	47,91 Ah – 2300 Wh	23,95 Ah – 1150 Wh
Estado mínimo de las baterías [Wh]	694,38	133,25
Energía máxima desplazable [Wh]	1375,61	901,74
Tabla 26: Energías desplazables		

Este desplazamiento de energías provoca el aumento en la profundidad de descarga máxima, que se sitúa en los dos casos en el 90%. Además al igual que en el caso anterior, se tiene un consumo energético mayor que en el sistema inicial (sin baterías), y a su vez mayor también que sin el desplazamiento de cargas debido al rendimiento que tienen las baterías. Estas diferencias de consumo de energía se muestran en la siguiente tabla.

Consumo sin baterías	3206,5 kWh	
Consumo con baterías (Potencia contratada 2,3kW)	3308,5 kWh	%3,18
Consumo con baterías (Potencia contratada 3,45kW)	3272,4 kWh	%2,06
Tabla 27: Consumo energético con desplazamiento de cargas		

También se aumenta el número de ciclos a los que se ven sometidas las baterías (427 para el caso de 2,3 kW y 366 para el caso de 3,45 kW de potencia contratada) y la profundidad de descarga con la que ocurren, lo cual repercutirá negativamente en la vida útil de las baterías. Los ciclos de descarga se muestran en los histogramas de las Figura 36 y Figura 37.

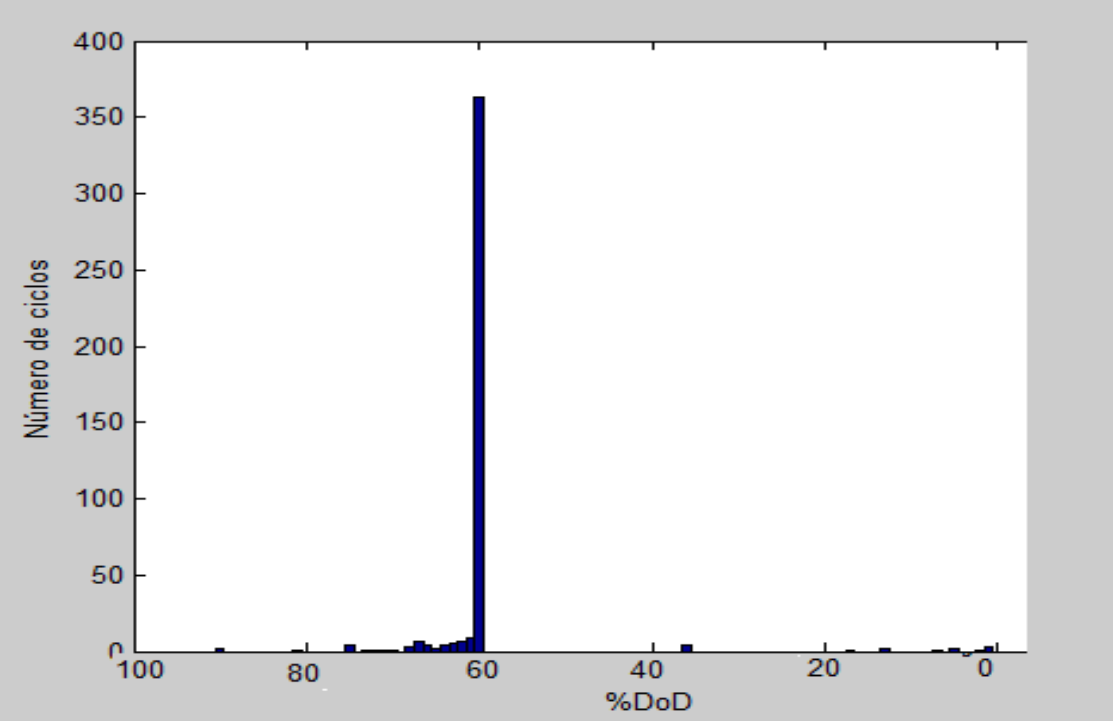


Figura 36: Histograma de profundidades de descarga para potencia contratada 2,3 kW

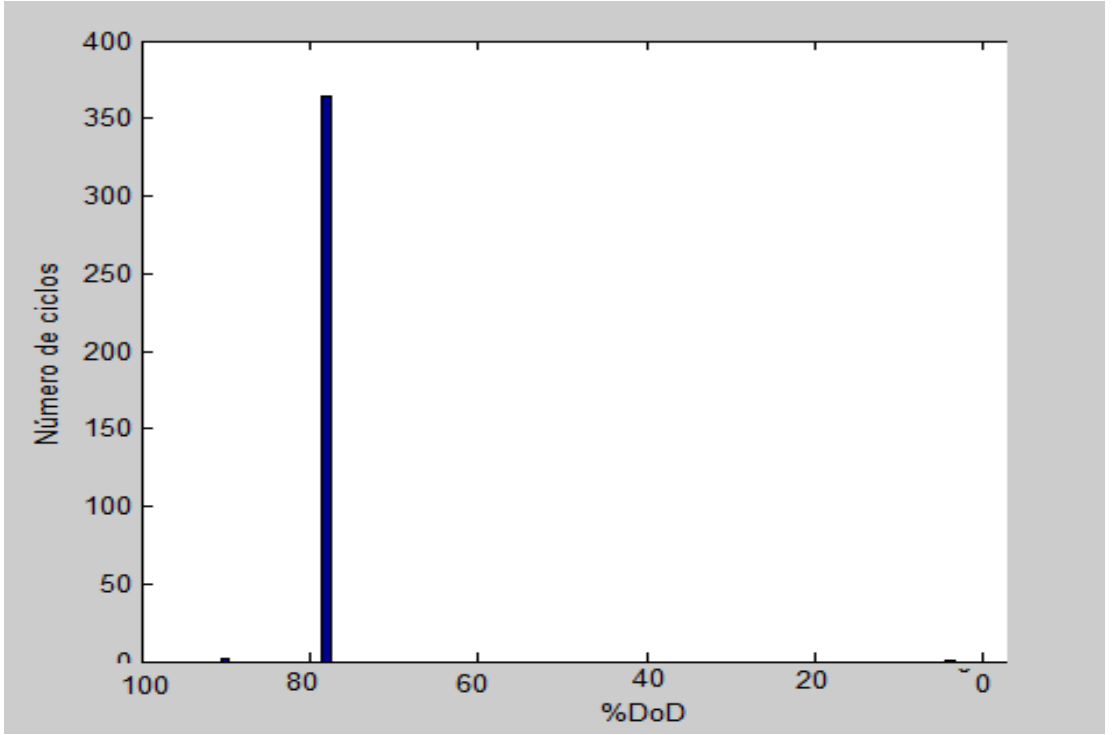


Figura 37: Histograma de profundidades de descarga para potencia contratada 3,45 kW

4.3.3 Cálculo de los costes anuales de los elementos del sistema propuesto

4.3.3.1 Sistema de baterías

Al igual que en la estrategia anterior, en este caso también es necesario realizar una aproximación del número de ciclos a un porcentaje de profundidad de descarga completa. Esto ayudara en la determinación final del número de años de vida de las baterías.

Como se ha podido observar en la Tabla 28, para el caso de 2,3 kW de potencia contratada, la gran mayoría de los ciclos, en concreto 363 se encuentran al 60% de profundidad de descarga.

Realizando la misma estimación que se ha utilizado en la estrategia anterior, los resultados obtenidos son los que se muestran en la siguiente tabla.

% DOD	Nº de ciclos	Estimación de ciclos equivalentes	Ciclos totales
0-30	10	$1800/1800=1$	10
30-50	4	$1800/750=2,4$	$2,4*4=24$
50-70	397	$1800/500=3,6$	$3,6*397=1393$
70-100	7	$1800/250=7,2$	$7,2*7=51$
Estimación de ciclos al DOD 30%: 1478 ciclos			
<i>Tabla 28: Ciclos equivalentes batería de potencia contratada 1,15 kW</i>			

Para la estimación de vida útil para el caso de 3,45 kW, al ser todos los ciclos menos 1 de casi el 80% de profundidad de descarga, se aproxima el número de ciclos a ese porcentaje de DOD teniendo por lo tanto 366 ciclos anuales. Teniendo en cuenta que la vida útil de las baterías seleccionadas ronda los 400 ciclos a esa profundidad de descarga, se concluye que la vida útil será de poco más de un año, por lo que se toma como un año.

Potencia contratada [kW]	2,3	3,45
Nº de ciclos anuales	427	366
%DOD máxima	90%	90%
Aproximación de ciclos al DOD 30% y 80%,respectivamente	1478	366
Tamaño batería [Ah]	47,91	23,95
Batería seleccionada	Victron Energy AGM BAT412550080 60Ah	Fiamm FG22703 AGM 27Ah
Vida útil [años]	1	1
Precio baterías [€]	4x134=536	4x74,90=299,6
Coste anual [€]	536	299,6
Tabla 29: Características baterías seleccionadas		

4.3.3.2 Sensor de corriente

En el caso del sensor de corriente, el coste anual es muy pequeño, de unos 2,3 €, ya que el precio del sensor es de 44,62 € y su vida útil es de unos 20 años.

4.3.3.3 Convertidor

Los convertidores para cada caso posible en esta estrategia son los mismos que en la estrategia anterior.

Potencia contratada [kW]	2.3	3.45
Tamaño mínimo del convertidor [kW]	2,3	1,15
Vida útil [años]	15	15
Precio convertidor [€]	0,4*2300= 920	0,4*1150= 460
Coste anual [€/año]	62	31
Tabla 30: Características convertidores seleccionados		

4.3.4 Coste de la factura eléctrica

El ahorro económico anual que se da por bajar la tarifa y por desplazar las cargas se calcula al igual que en la estrategia anterior y se muestra en la Tabla 31.

Tarifa P. contratada	Tarifa PVPC	Iberdrola	Som energía	Endesa
2,3 kW	224,14 €	206,31 €	217,53 €	193,16 €
3,45 kW	155,70 €	143,46 €	151,63 €	130,53 €

Tabla 31: Ahorro económico al bajar la potencia contratada con desplazamiento de cargas

Se puede comparar este ahorro con el obtenido con la estrategia anterior (Tabla 23). En el caso de la potencia contratada de 2,3 kW se puede determinar que el desplazamiento de cargas sí que ha reducido la factura eléctrica. No ocurre lo mismo con el caso de 3,45 kW de potencia contratada, donde se reduce el ahorro con respecto a la tarifa eléctrica del sistema inicial (Tarifa 2.0A). Esto es debido a que el ahorro económico que supone el desplazamiento de cargas no es suficiente para superar el coste adicional que se da por el hecho de necesitar más energía para cargarlas por el rendimiento de descarga que tienen.

4.3.5 Cálculo final del ahorro económico

Para finalizar con el análisis, se calcula el ahorro económico anual del sistema en la siguiente tabla para el caso de mayor y menor ahorro en la factura.

Potencia contratada [kW]	2,3	3,45
Ahorro anual en la factura eléctrica [€/año]	224,14	155,70
Coste anual sensor corriente [€/año]	-2,97	-2,97
Coste anual baterías [€/año]	-536	-299,6
Coste anual convertidor [€/año]	-62	-31
AHORRO ECONÓMICO ANUAL [€/año]	-376,83	-177,87

Tabla 32: Ahorro económico anual con desplazamiento de cargas

Potencia contratada [kW]	2,3	3,45
Ahorro anual en la factura eléctrica [€/año]	193,16	130,53
Coste anual sensor corriente [€/año]	-2,97	-2,97
Coste anual baterías [€/año]	-536	-299,6
Coste anual convertidor [€/año]	-62	-31
AHORRO ECONÓMICO ANUAL [€/año]	-407,80	-203,04

Tabla 33: Ahorro económico anual con desplazamiento de cargas



Comparando el resultado obtenido con el de la estrategia anterior, se puede decir que el dispositivo más caro anualmente no es el convertidor, sino las baterías.

Como se puede observar en la Tabla 32 y 33, en este caso no existe ahorro económico, de hecho, se perdería dinero. El principal problema para que, en el escenario seleccionado (tamaño de baterías, convertidor, etc.), esta estrategia no sea factible económicamente, es que, aunque exista un ligero ahorro en la factura eléctrica, se desplazan las cargas y eso supone que las baterías realicen un ciclo de al menos el 60% de DOD todos los días del año. Este hecho reduce la vida útil de las baterías y hace que sea necesario cambiarlas anualmente, es decir, que toda la inversión que se realiza al comprarlas se tenga que amortizar en un año.



5. Conclusiones

En este trabajo fin de grado se ha analizado un sistema de baterías conectado mediante un convertidor electrónico a una vivienda con el objeto de que el sistema suministre los picos de potencia que se demanda en la vivienda y así reducir la potencia contratada con la compañía eléctrica.

Una vez realizados los distintos análisis se pueden sacar conclusiones en diferentes aspectos. Se ha propuesto un sistema de conexión a red hipotético, que puede tener su implantación en un futuro próximo pero que a día de hoy no se utiliza en viviendas. Esta situación hipotética dificulta el análisis de uno de los elementos clave del sistema, el convertidor. Se ha podido analizar que en la actualidad existen diferentes convertidores con características similares al que se debería poner en esta instalación pero que no se ajustan al máximo a las necesidades.

Por este motivo ha resultado difícil la estimación del precio que tendría un convertidor con los semiconductores y características necesarias para este escenario hipotético. El precio que se ha fijado en el análisis ha sido una estimación a futuro de lo que ocurriría si la tendencia de descender los precios continuara y se diseñara un convertidor específico que se implantase en un mercado relativamente grande.

Sin embargo, las baterías plomo-ácido que se encuentran en la actualidad en el mercado, son una tecnología madura, por lo que su análisis resulta más simple. Aun así, existen hoy en día todavía aspectos de estas baterías por desarrollar, como puede ser su vida útil dependiendo de la profundidad de descarga de los ciclos, lo cual abarataría este tipo de sistemas.

En la primera estrategia, donde la batería se carga cuando el consumo de la vivienda es menor que la máxima potencia que se tenía contratada y se descarga cuando es necesario para cubrir los picos de consumo, los resultados para cada posible escenario han sido diferentes. Como se ha podido ver en los resultados de ahorro económico anual, habría dos casos en los que sería rentable la implantación de dicho sistema. Estos casos son en los que se contratan 2,3 kW o 3,45 kW de potencia y se utiliza el almacenamiento mediante baterías seleccionado. La razón de que se obtenga ahorro económico en estos casos es el modo en el que funciona la batería, esto es, el poco número de ciclos anuales y de poca profundidad de descarga a los que se ven sometidas.



Por otro lado se encuentra el caso en el que únicamente se contrataran 1,15 kW. Este caso no resultaría económicamente viable debido a que las baterías sufren muchos ciclos de descarga ya que están constantemente en funcionamiento, y la profundidad de ellos es relativamente grande, lo que influye en su vida útil y por lo tanto en la cantidad de años que se tiene para amortizar las baterías.

En el caso de la segunda estrategia, partiendo del tamaño de batería calculado para la primera estrategia, las baterías se descargan lo máximo posible durante las horas punta y en los momentos en los que la demanda de potencia supera la potencia contratada a la red, y se cargan en horas valle. Para esta estrategia solo se han analizado los casos de contratar 2,3 kW y 3,45 kW de potencia ya que no puede realizarse esta estrategia para el caso de 1,15 kW contratados debido a que se estaría descargando la batería más del 90% de DOD marcado como límite. En los dos casos analizados se concluye que no resulta económicamente viable realizar esta estrategia. En uno de los casos (caso 3,45 kW de potencia contratada) esto es debido a que se reduce el ahorro en la factura eléctrica debido a la eficiencia de la batería y a la vez se reduce el número de años de vida útil de las baterías. En el otro caso, pese a que se ha utilizado una batería con tecnología AGM, que tiene más vida útil en lo que a ciclos de descarga se refiere, las baterías se ven sometidas a un gran ciclaje que convierten al sistema en inviable.

Para concluir, se puede decir que el análisis realizado solo es rentable en algunos de los casos analizados. En los casos en que sí que es rentable, aun siendo optimista, no se obtendría un ahorro superior a 100 € anuales.

Hay varios factores que pueden cambiar los resultados obtenidos. Uno de los factores que influiría es el precio del convertidor, ya que en el análisis se ha utilizado una estimación y no se sabe con exactitud en un futuro qué precio tendrán. Otro de los factores a tener en cuenta es el precio del término de potencia en la factura eléctrica. Este precio al ser más una decisión política que económica, tampoco es previsible la evolución que tendrá, pero sí que se puede decir que contra mayor sea el precio, mayor será el ahorro económico que supondría la implantación del sistema propuesto. Por último, la reducción del precio de las baterías también supondría un aumento del ahorro. Esta reducción del precio puede venir del desarrollo de nuevas tecnologías o incluso de utilizar baterías de coche eléctrico de 2º mano para realizar el análisis.



A líneas futuras se podría realizar el mismo análisis con otras tecnologías emergentes o un análisis de cuál sería el precio del término de potencia a partir del cual saldría rentable el sistema propuesto.





6. Referencias

- [1] Instituto Enerxético de Galicia (INEGA) ,“Precios de las tarifas eléctricas”. Disponible: http://www.inega.es/descargas/enerxia_galicia/precio_tarifa_electrica_castellano.pdf
- [2] Comparatarifasenergia.com, “FACTURA ELÉCTRICA, costes fijos + variables” Disponible: <http://www.comparatarifasenergia.es/info-energia/mi-factura/electricidad>
- [3] Resolución de 8 de Septiembre de 2006, BOE. Disponible: <http://www.boe.es/boe/dias/2006/09/27/pdfs/A33821-33821.pdf>
- [4] Real Decreto 216/2014. Disponible: <http://www.boe.es/boe/dias/2014/03/29/pdfs/BOE-A-2014-3376.pdf>
- [5] Iberdrola, “Precios regulados 2014 electricidad y gas”. Disponible: http://www.energiaysociedad.es/pdf/documentos/regulacion_tarifas/tarifas/Tarifas_T2_2014_Triptico_r0.pdf
- [6] Endesa. Disponible: <http://www.endesaonline.com/ES/Hogares/luz/index.asp>
- [7] Som Energía. Disponible: <http://www.somenergia.coop/es/tarifas>
- [8] Javier Marcos Alvarez, “Generación distribuida y cogeneración. Tecnologías”
- [9] P. Estévez Irizar, M. Varela Cuadrado, E. Iturritxa Zubiri, “Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica embarcados en los trenes”. Disponible: http://www.investigacionffe.es/documentos/elecrail/M4-ElecRail_Sistemas_acumulaci%C3%B3n.pdf
- [10] Carlos Peña Ordóñez, “Estudio de baterías para vehículos eléctricos”. Universidad Carlos III de Madrid. Disponible: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11805/PFC_Carlos_Pena_Ordóñez.pdf?sequence=1
- [11] Miguel Alonso Abella, “Sistemas fotovoltaicos”, CIEMAT. Disponible: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf
- [12] Isaac Gil Mera, “Diseño de un sistema de almacenamiento de energía híbrido basado en baterías y supercondensadores para su integración en microrredes eléctricas. Capítulo 2. Baterías y supercondensadores”, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla. Disponible: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4740/fichero/2.+Baterias+y+Supercondensadores.pdf>
- [13] Juan Carlos Viera Pérez, “Carga rápida de baterías de Ni-Cd y Ni-MH de media y gran capacidad. Análisis, síntesis y comparación de nuevos métodos”. Disponible: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/11142/UOV0036TJCVP.pdf?sequence=1>
- [14] TRONEX Industrial. Disponible: <http://www.tronex-industrial.com/Bater%C3%ADasybrCargadores/Bater%C3%ADasEstacionarias/Bater%C3%ADasMTEK.aspx>
- [15] Victron Energy, “Datasheet GEL and AGM batteries”. Disponible: <http://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-GEL-and-AGM-Batteries-ES.pdf>

- [16] Precios venta al público Victron Energy. Disponible: http://www.victronenergy.com/upload/documents/WEB_Pricelist_Victron_2014-Q2_C_Euro.pdf
- [17] Teknosolar. Disponible: <http://www.teknosolar.com/acumulador-estacionario-bae-16-pvs-3040.html>
- [18] Fiamm Batteries, FG batteries. Disponible: <http://www.fiamm.com/en/europe/industrial-batteries/products/fg-@-emea-sa.aspx>
- [19] Fiamm batteries, SMG 12V blocs. Disponible: <http://www.fiamm.com/en/europe/industrial-batteries/products/smg-12v-blocs-@-emea-sa.aspx>
- [20] Blue box batteries, Catalogo baterías. Disponible: <http://www.blueboxbatteries.co.uk/brands/fiamm/fg-range>
- [21] Fiamm, "Technical document". Disponible: <http://www.shop.solar-wind.co.uk/acatalog/Fiamm-SMG-cycling.pdf>
- [22] César Navarro Gómez de Segura, "Diseño de una planta solar fotovoltaica para abastecer una granja de cerdas madres, y sus posibles alternativas". Disponible: <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EPHUES/2012/9730/TAZ-PFC-2012-721.pdf>
- [23] Díaz Tomas, "Instalaciones solares fotovoltaicas. Componentes de una instalación solar fotovoltaica". Disponible: <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- [24] Pablo Sanchis Gúrpide, "Sistemas fotovoltaicos. Estructuras de conversión electrónica".
- [25] Elektra, "Catalogo solar 2013". Disponible: http://www.grupoelektra.es/auxiliar/plantillas/10/CATALOGO-2013-SOLAR_OK.pdf
- [26] Tienda Monsolar.com. Disponible: <http://www.monsolar.com/fotovoltaica-aislada/inversores.html?p=3>
- [27] Juan Antonio Martínez Borrego, "Diseño Tarjeta de Control de un Cargador de Baterías de 1,5 kW, basado en un rectificador controlado monofásico", Universidad Politécnica de Cartagena. Disponible: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/2002/1/pfc4006.pdf>
- [28] Distribuidor RS. Disponible: <http://es.rs-online.com/web/c/automatizacion-y-control-de-procesos/sensores-y-transductores/transductores-de-corriente/?searchTerm=sensores>
- [29] J. Moreno Gil, C. Fernández García, D. Lasso Tárraga, "Instalaciones eléctricas interiores", EDICIONES PARANINFO, S.A., 2010
- [30] "Instalaciones eléctricas en viviendas". Disponible: http://www.edu.xunta.es/centros/iesfelixmuriel/system/files/inst_el%C3%A9ctricas_viviendas.pdf



- [31] Jing Li, Wei Wei and Ji Xiang, "A Simple Sizing Algorithm for Stand-Alone PV/Wind/Battery Hybrid Microgrids".
- [32] M.R. Jongerden and B.R. Haverkort, "Battery Modeling". Disponible: <http://doc.utwente.nl/64556/1/BatteryRep4.pdf>





7. Anexos

7.1 Estrategia inicial análisis anual

```

%% ESTRATEGIA 1
home
clear all
close all

% CARGA DE DATOS
load('Consumo.mat')
load('SemanalMarzo2011.mat')
load('Potencias_contratables.mat')

% CAMBIO DE UNIDADES DE DATOS
Potencia_Consumo_casa=Consumo*1000; %Consumo en W

% CONSTANTES
ren_carga=1; %Rendimiento de batería al cargar
ren_descarga=0.8; %Rendimiento batería al descargar
PD=0.9; %Profundidad de la descarga máxima

Tensionbaterias=48; %Tensión en bornes de la batería
Potenciaca=4600; %Potencia que tiene contratada la vivienda en el sistema inicial
Fs=15*60;

% POTENCIA A CONTRATAR

Potencias_factibles_sinbateria(1)=0;
for i=1:length(Potencias_contratables)
    %Comprueba si la potencia contratada > máxima potencia que consume la casa
    if ((Potencias_contratables(i,2)) < (max(Potencia_Consumo_casa)))
        %Guarda solo las potencias que sean factibles para realizar la simulación
        Potencias_factibles(i,1)=Potencias_contratables(i,2);
    end
end
Potenciafacturasinbateria=Potenciaca;

% ENERGÍA CONSUMO DE LA CASA

for i=2:length(Potencia_Consumo_casa)
    %Potencia consumida en la casa pasada a energía en Wh
    Energia_Consumo_Casa(i,1)=Potencia_Consumo_casa(i)*0.25;
    EnergiaTotal=sum(Energia_Consumo_Casa);
end

% CÁLCULO DEL TAMAÑO DE BATERÍA NECESARIA

% Definir matrices
Potencia_Bateria=zeros(length(Potencia_Consumo_casa),length(Potencias_factibles));
Potencia_Bateria_SOC=zeros(length(Potencia_Consumo_casa),length(Potencias_factibles));
Energia_Bateria_SOC=zeros(length(Potencia_Consumo_casa),length(Potencias_factibles));
Estado_bateria=zeros(length(Potencia_Consumo_casa),length(Potencias_factibles));

for j=1:length(Potencias_factibles)
    for i=2:length(Potencia_Consumo_casa)
        %Descarga de batería, Potencia Batería negativa(-)
        if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
            %Potencia que da la batería al sistema
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            %Potencia que se descarga de la batería internamente
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
            %Potencia que consume el sistema de la red
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            %Potencia pasado a Energía
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25;
            %Estado de carga de la batería. 0 significa totalmente cargada,
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
        end
    end
end

```

```
%Carga de batería, Potencia Batería positiva(+)
else
    %Potencia que da la batería al sistema
    Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
    %Potencia que se descarga de la batería internamente
    Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))*ren_carga;
    %Potencia que consume el sistema de la red
    Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
    %Potencia pasado a Energía
    Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25;
    %Estado de carga de la batería.0 significa totalmente cargada,
    Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
    %Comprobación de si la batería se está cargando más de lo que necesita
    if (Estado_bateria(i,j))>0
        %Limita la carga de la batería
        Potencia_Bateria_SOC(i,j)=-Estado_bateria(i-1,j)/0.25;
        Potencia_Bateria(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)/ren_carga;
        Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i)+Potencia_Bateria(i,j);
        Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25;
        Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
    end
end
Energia_Bateria(i,j)=Potencia_Bateria(i,j)*0.25;
end
%Cálculo de energía que necesita el sistema de baterías (Wh)
Tamano_bateria(1,j)=-(min(Estado_bateria(:,j))));
end

%Energía que se consume de la red con el sistema de baterías
EnergiaTotalBaterias=sum(Potencia_red*0.25)

%Cálculo de la capacidad de la batería por potencia (energía instantánea) o energía
BateriaporEnergia(1,:)=Tamano_bateria(1,:)/Tensionbaterias;
BateriaporPotencia=(Potenciaca-Potencias_factibles(:))/Tensionbaterias;

%Cálculo de la batería necesaria para tener un PD de máximo 90%
for i=1:length(Tamano_bateria)
    %Elección de batería por potencia (energía instantánea) o energía(se
    %elige el mas limitante)
    if BateriaporEnergia(i)>BateriaporPotencia(i)
        BateriaAH(i)=BateriaporEnergia(i);
    else
        BateriaAH(i)=BateriaporPotencia(i);
    end
    %PD para cada caso
    ENERGIABATERIASFINAL(i)=BateriaAH(i)*Tensionbaterias;
    PDTtotal(i)=Tamano_bateria(i)/ENERGIABATERIASFINAL(i);
    %Se comprueba si cumple el PD impuesto, sino se calcula un tamaño de
    %batería mayor para que se cumpla
    if PDTtotal(i)>0.9
        x(1,i)=ENERGIABATERIASFINAL(i)*PD/Tamano_bateria(i);
        ENERGIABATERIASFINAL(i)=ENERGIABATERIASFINAL(i)/x(1,i);
        BateriaAH(i)=ENERGIABATERIASFINAL(i)/Tensionbaterias;
        PDTtotal(i)=Tamano_bateria(i)/ENERGIABATERIASFINAL(i);
    end
end

%% Rampa máxima que se dará en Wh
for j=1:length(Potencias_factibles)
    for i=2:length(Potencia_Consumo_casa)
        rampa(i,j)=Estado_bateria(i,j)-Estado_bateria(i-1,j); %En Wh
    end
end
Rampa=max(rampa);

%% Cálculo del SOC
for j=1:length(Potencias_factibles)
    for i=1:(length(Potencia_Consumo_casa))
        desfasenergetico(i,j)=(((Estado_bateria(i,j)-
min(Estado_bateria(:,j)))/(ENERGIABATERIASFINAL(j))*100)+((1-PDTtotal(j))*100);
    end
end
```



```
%% Tiempo por debajo del mínimo

%Límite de baterías por debajo del que no pueden estar mucho tiempo
Limite_medio=30;
for i=1:size(desfasenergetico),2)
    d0(:,i)=desfasenergetico(:,i)-Limite_medio;
end

f1=find(d0(1:end-1,1).*d0(2:end,1)<0);
f2=find(d0(1:end-1,2).*d0(2:end,2)<0);
f3=find(d0(1:end-1,3).*d0(2:end,3)<0);

%Cálculo de periodos durante los que está por debajo del límite (en segundos)
for i=1:length(f1)
    if desfasenergetico(f1(i)+1,1)<Limite_medio
        if desfasenergetico(f1(i+1)+1,1)>Limite_medio
            Periodo1(i)=(f1(i+1)-f1(i))*Fs;
        else
            Periodo1(i)=0;
        end
    end
end
for i=1:length(f2)
    if desfasenergetico(f2(i)+1,2)<Limite_medio
        if desfasenergetico(f2(i+1)+1,2)>Limite_medio
            Periodo2(i)=(f2(i+1)-f2(i))*Fs;
        else
            Periodo2(i)=0;
        end
    end
end
for i=1:length(f3)
    if desfasenergetico(f3(i)+1,3)<Limite_medio
        if desfasenergetico(f3(i+1)+1,3)>Limite_medio
            Periodo3(i)=(f3(i+1)-f3(i))*Fs;
        else
            Periodo3(i)=0;
        end
    end
end

%% Cálculo curva de potencias consumidas medias clasificadas
x=1:100:4000;
num=hist(Potencia_Consumo_casa,x);

for i=1:length(num)
    numh(i)=num((length(num)+1)-i);
end
for i=2:length(num)
    numh(i)=numh(i-1)+numh(i);
end
for i=1:length(num)
    def(i)=numh((length(num)+1)-i);
end

%% Gráficos
figure
plot(Potencia_Consumo_casa)
title('Consumo potencia vivienda anual')
xlabel('Datos anuales (15 minutales)')
ylabel('Potencia (W)')
figure
plot(def,x)
figure
plot(Potencia_red(:,1),'r')
hold on
plot(Potencia_Bateria(:,1),'g')
figure
plot(desfasenergetico)

%% Vida útil baterías

%Cálculo ciclos de baterías
ciclos1=0;
maximos1=min(desfasenergetico(:,1));
ciclos2=0;
maximos2=min(desfasenergetico(:,2));
ciclos3=0;
maximos3=min(desfasenergetico(:,3));
```

```
for i=2:(length(desfasenergetico)-1)
    rampa=desfasenergetico(i-1,1)-desfasenergetico(i,1);
    rampa1=desfasenergetico(i,1)-desfasenergetico(i+1,1);
    if rampa>0
        if rampa1<0
            ciclos1=ciclos1+1;
            maximos1(end+1)=desfasenergetico(i,1);
        end
    end
end

for i=2:(length(desfasenergetico)-1)
    rampa=desfasenergetico(i-1,2)-desfasenergetico(i,2);
    rampa1=desfasenergetico(i,2)-desfasenergetico(i+1,2);
    if rampa>0
        if rampa1<0
            ciclos2=ciclos2+1;
            maximos2(end+1)=desfasenergetico(i,2);
        end
    end
end

for i=2:(length(desfasenergetico)-1)
    rampa=desfasenergetico(i-1,3)-desfasenergetico(i,3);
    rampa1=desfasenergetico(i,3)-desfasenergetico(i+1,3);
    if rampa>0
        if rampa1<0
            ciclos3=ciclos3+1;
            maximos3(end+1)=desfasenergetico(i,3);
        end
    end
end

%Histogramas de ciclos de baterías
x=1:1:100;
num=hist(maximos1,x);
figure
hist(maximos1,x)
hold on
xlabel('% DoD')
ylabel('Número de ciclos')
num=hist(maximos2,x);
figure
hist(maximos2,x)
hold on
xlabel('% DoD')
ylabel('Número de ciclos')
num=hist(maximos3,x);
figure
hist(maximos3,x)
hold on
xlabel('% DoD')
ylabel('Número de ciclos')
```

7.2 Estrategia inicial análisis diario (Día 1)

```
%%Estrategia 1-analisis diario%%
home
clear all
close all

%CARGA DE DATOS
load('Consumo.mat')
load('Semana1Marzo2011.mat')
load('Potencias_contratables.mat')

%CAMBIO DE UNIDADES DE DATOS
Semana=Semana1Marzo2011/1000; %Consumo en W

for i=1:(length(Semana)/7)
    Dial(i,1)=Semana(i);
end
```



```
%CONSTANTES
ren_carga=1;           %Rendimiento de bateria al cargar
ren_descarga=0.8;      %Rendimiento bateria al descargar
tension_nominal_casa=1;
PD=0.9;                %Profundidad de la descarga

PotenciaCasa=4600;
Tensionbaterias=48;
%POTENCIA A CONTRATAR

Limitepot_contratada=1*Potencias_contratables(:,2); %Se admite un 10% mas de potencia suministrable durante
todo el tiempo
for i=1:length(Limitepot_contratada)
    if ((Limitepot_contratada(i))<(max(Semana))) %Comprueba si la potencia contratada>maxima potencia que
consume la casa
        Potencias_factibles(i,1)=Limitepot_contratada(i); %Guarda solo las potencias que sean factibles para
realizar la simulación
    end
end

%CÁLCULO DE LA BATERIA NECESARIA

for j=1:length(Potencias_factibles)
    for i=2:length(Dial)
        Energiaconsumida_Casa_dial(i,1)= Dial(i)*(1/(60*60)); %En Wh
        EnergiaTotal=sum(Energiaconsumida_Casa_dial);
    end
end

%% %CÁLCULO DE LA BATERIA NECESARIA

%Definir matrices
Potencia_Bateria=zeros(length(Dial),length(Potencias_factibles));
Potencia_Bateria_SOC=zeros(length(Dial),length(Potencias_factibles));
Energia_Bateria_SOC=zeros(length(Dial),length(Potencias_factibles));
Estado_bateria=zeros(length(Dial),length(Potencias_factibles));

for j=1:length(Potencias_factibles)
    for i=2:length(Dial)

        %Descarga de bateria -
        if Dial(i)>Potencias_factibles(j)
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Dial(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Dial(i))/ren_descarga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*(1/(60*60)); %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);

            %Carga de bateria +
        else
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Dial(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Dial(i))*ren_carga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*(1/(60*60)); %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
            if (Estado_bateria(i,j))>0
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=-Estado_bateria(i-1,j)/(1/(60*60)); %
                Potencia_Bateria(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)/ren_carga;
                Potencia_red(i,j)=Dial(i)+Potencia_Bateria(i,j);
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*(1/(60*60)); %Potencia pasado a Energía
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
            end
        end

        Energia_Bateria(i,j)=Potencia_Bateria(i,j)*(1/(60*60));

    end

    Tamano_bateria(1,j)=- (min(Estado_bateria(:,j))); %Tamaño de la bateria en Wh
end

EnergiaTotalBaterias=sum(Potencia_red*(1/(60*60)))

% Elección de bateria

BateriaporEnergia(1,:)=Tamano_bateria(1,:)/Tensionbaterias;
```

```
BateriaporEnergia
BateriaporPotencia=(Potenciacaasa-Potencias_factibles(:))/Tensionbaterias
figure
plot(Dial)
hold on

plot(Potencia_red(:,1),'r')
plot(Potencia_Bateria(:,1),'g')

%% hh
%% BateriaPorPotencia=(Potenciacaasa-Potencias_factibles(:))/Tensionbaterias

for i=1:length(Tamano_bateria)
    if BateriaporEnergia(i)>BateriaporPotencia(i)
        BateriaAH(i)=BateriaporEnergia(i);
    else
        BateriaAH(i)=BateriaporPotencia(i);
    end
    % PD para cada caso
    POTENCIABATERIASFINAL(i)=BateriaAH(i)*Tensionbaterias;
    PDTotal(i)=Tamano_bateria(i)/POTENCIABATERIASFINAL(i)
    if PDTotal(i)>0.9
        x(1,i)=POTENCIABATERIASFINAL(i)*PD/Tamano_bateria(i);
        POTENCIABATERIASFINAL(i)=POTENCIABATERIASFINAL(i)/x(1,i);
        BateriaAH(i)=POTENCIABATERIASFINAL(i)/Tensionbaterias;
        PDTotal(i)=Tamano_bateria(i)/POTENCIABATERIASFINAL(i);
    end
end

end
```

7.3 Segunda estrategia: Desplazamiento de cargas

```
%%ESTRATEGIA 2%%
home
clear all
close all

%CARGA DE DATOS
load('Consumo.mat')
load('SemanalMarzo2011.mat')
load('Potencias_contratables.mat')

%CAMBIO DE UNIDADES DE DATOS
Potencia_Consumo_casa=Consumo*1000; %Consumo en W

%CONSTANTES
ren_carga=1; %Rendimiento de batería al cargar
ren_descarga=0.8; %Rendimiento batería al descargar
PD=0.9; %Profundidad de la descarga

Tensionbaterias=48;
Potenciacaasa=4600;
Fs=15*60;

%POTENCIA A CONTRATAR

Potencias_factibles_sinbateria(1)=0;
for i=1:length(Potencias_contratables)
    %Comprueba si la potencia contratada>máxima potencia que consume la casa
    if ((Potencias_contratables(i,2))<(max(Potencia_Consumo_casa)))
        %Guarda solo las potencias que sean factibles para realizar la simulación
        Potencias_factibles(i,1)=Potencias_contratables(i,2);
    end
end
Potenciafacturasinbateria=Potenciacaasa;

%% CÁLCULO DE LA BATERIA NECESARIA PRIMERA ESTRATEGIA

%Definir matrices
Potencia_Bateria=zeros(length(Potencia_Consumo_casa),length(Potencias_factibles));
Potencia_Bateria_SOC=zeros(length(Potencia_Consumo_casa),length(Potencias_factibles));
Energia_Bateria_SOC=zeros(length(Potencia_Consumo_casa),length(Potencias_factibles));
Estado_bateria=zeros(length(Potencia_Consumo_casa),length(Potencias_factibles));
```




```

for j=2:length(Potencias_factibles)
    Punta=0;
    Valle=0;
    x=0;
    y=0;
    for i=2:8256
        if i<=48
            if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
                Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
                Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
            else
                Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))*ren_carga;
                Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
                if (Estado_bateria(i,j))>0
                    Potencia_Bateria_SOC(i,j)=-Estado_bateria(i-1,j)/0.25; %
                    Potencia_Bateria(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)/ren_carga;
                    Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i)+Potencia_Bateria(i,j);
                    Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                    Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
                end
            end
        end
    end
    if i>48
        if x==y
            if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
                Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
                Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);

                %Carga de bateria +
            else
                Potencia_Bateria(i,j)=0;
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=0;
                Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i);
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=0; %Potencia pasado a Energía
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j);
            end
            Punta=Punta+1;
            if Punta==40
                x=x+1;
                Punta=0;
            end
        else
            if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
                Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
                Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);

                %Carga de bateria +
            else
                Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))*ren_carga;
                Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
                if (Estado_bateria(i,j))>0
                    Potencia_Bateria_SOC(i,j)=-Estado_bateria(i-1,j)/0.25; %
                    Potencia_Bateria(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)/ren_carga;
                    Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i)+Potencia_Bateria(i,j);
                    Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                    Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
                end
            end
            Valle=Valle+1;
            if Valle==56
                y=y+1;
                Valle=0;
            end
        end
    end
end

```

```
end
end
end
Valle
x
y
x=0;
y=0;
Punta=0;
Valle=0;
for i=8257:29088
    if i<=8308
        if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);

            %Carga de batería +
        else
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))*ren_carga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
            if (Estado_bateria(i,j))>0
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=-Estado_bateria(i-1,j)/0.25; %
                Potencia_Bateria(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)/ren_carga;
                Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i)+Potencia_Bateria(i,j);
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
            end
        end
    end
end
if i>8308
    if x==y
        if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);

            %Carga de batería +
        else
            Potencia_Bateria(i,j)=0;
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=0;
            Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=0; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j);

            end
            Punta=Punta+1;
            if Punta==40
                x=x+1;
                Punta=0;
            end
        else
            if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
                Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
                Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);

                %Carga de batería +
            else
                Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))*ren_carga;
                Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
                if (Estado_bateria(i,j))>0
                    Potencia_Bateria_SOC(i,j)=-Estado_bateria(i-1,j)/0.25; %
                    Potencia_Bateria(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)/ren_carga;
                    Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i)+Potencia_Bateria(i,j);
                    Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                    Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
                end
            end
        end
    end
end
```



```

        end
    end
    Valle=Valle+1;
    if Valle==56
        y=y+1;
        Valle=0;
    end
end
end
x
y
x=0;
y=0;
Punta=0;
Valle=0;

for i=29089:length(Potencia_Consumo_casa)
    if i<=29136;
        if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
        else
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))*ren_carga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
            if (Estado_bateria(i,j))>0
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=-Estado_bateria(i-1,j)/0.25; %
                Potencia_Bateria(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)/ren_carga;
                Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i)+Potencia_Bateria(i,j);
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
            end
        end
    end
end
if i>29136
    if x==y
        if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);

            %Carga de batería +
        else
            Potencia_Bateria(i,j)=0;
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=0;
            Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=0; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j);

        end
        Punta=Punta+1;
        if Punta==40
            x=x+1;
            Punta=0;
        end
    else
        if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);

            %Carga de batería +
        else
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))*ren_carga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
            if (Estado_bateria(i,j))>0
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=-Estado_bateria(i-1,j)/0.25; %
            end
        end
    end
end
end

```

```
Potencia_Bateria(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)/ren_carga;
Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i)+Potencia_Bateria(i,j);
Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
end
end
Valle=Valle+1;
if Valle==56
    y=y+1;
    Valle=0;
end
end
end
end
end
Tamano_bateria(1,j)=-(min(Estado_bateria(:,j)))); %Tamaño de la batería en Wh

end

for j=1:length(Potencias_factibles)
    EnergiaTotalBaterias(j)=sum(Potencia_red(:,j)*0.25);
end

% Elección de batería
BateriaporEnergia(1,:)=Tamano_bateria(1,:)/Tensionbaterias;
BateriaporPotencia=(Potenciacaśa-Potencias_factibles)/Tensionbaterias

for i=2:length(Tamano_bateria)
    if BateriaporEnergia(i)>BateriaporPotencia(i)
        BateriaAH(i)=BateriaporEnergia(i);

    else
        BateriaAH(i)=BateriaporPotencia(i);

    end
    % PD para cada caso
    POTENCIABATERIASFINAL(i)=BateriaAH(i)*Tensionbaterias;
    PDTtotal(i)=Tamano_bateria(i)/POTENCIABATERIASFINAL(i);
    if PDTtotal(i)>0.9
        x(1,i)=POTENCIABATERIASFINAL(i)*PD/Tamano_bateria(i);
        POTENCIABATERIASFINAL(i)=POTENCIABATERIASFINAL(i)/x(1,i);
        BateriaAH(i)=POTENCIABATERIASFINAL(i)/Tensionbaterias;
        PDTtotal(i)=Tamano_bateria(i)/POTENCIABATERIASFINAL(i);
    end
end

end

%% CÁLCULO ESTRATEGIA DESPLAZAMIENTO DE CARGAS

%Cálculo del margen que se le puede dejar descargar a la batería teniendo en cuenta la estrategia anterior
Gastar=[0,0,0];
for j=2:length(Potencias_factibles)
    Gastar(j)=(ENERGIABATERIASFINAL(j)*PD)-(BateriaporEnergia(j)*48);
    Contador(j)=Gastar(j);
end

%Definir matrices
Potencia_Bateria=zeros(length(Potencia_Consumo_casa),length(Potencias_factibles));
Potencia_Bateria_SOC=zeros(length(Potencia_Consumo_casa),length(Potencias_factibles));
Energia_Bateria_SOC=zeros(length(Potencia_Consumo_casa),length(Potencias_factibles));
Estado_bateria=zeros(length(Potencia_Consumo_casa),length(Potencias_factibles));

for j=2:length(Potencias_factibles)
    %%Invierno
    Punta=0; %Datos punta
    Valle=0; %Datos valle
    x=0; %Contador Punta
    y=0; %Contador Valle
    for i=2:8256
        if i<=48
            %Descarga de batería, Potencia Batería negativa(-)
            if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
                %Potencia que da la batería al sistema
                Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
                %Potencia que se descarga de la batería internamente
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
                %Potencia que consume el sistema de la red
                Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
                %Potencia pasado a Energía
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25;
```

```

%Estado de carga de la batería.0 significa totalmente cargada,
Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
%Carga de batería, Potencia Batería positiva(+)
else
    %Potencia que da la batería al sistema
    Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
    %Potencia que se descarga de la batería internamente
    Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))*ren_carga;
    %Potencia que consume el sistema de la red
    Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
    %Potencia pasado a Energía
    Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25;
    %Estado de carga de la batería.0 significa totalmente cargada,
    Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
    %Comprobación de si la batería se está cargando más de lo que necesita
    if (Estado_bateria(i,j))>0
        %Limita la carga de la batería
        Potencia_Bateria_SOC(i,j)=-Estado_bateria(i-1,j)/0.25;
        Potencia_Bateria(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)/ren_carga;
        Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i)+Potencia_Bateria(i,j);
        Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25;
        Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
    end
end
end
if i>48
    if x==y
        if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);

        %Carga de batería +
        else
            Potencia_Bateria(i,j)=0;
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=0;
            Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=0; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j);
            %Le deja consumir energía de la batería si queda
            %todavía energía hasta llegar al margen (Contador)
            if Gastar(j)>0
                Gastar(j)=Gastar(j)-((Potencia_Consumo_casa(i)*0.25)/ren_descarga);
                Potencia_Bateria(i,j)=-Potencia_Consumo_casa(i);
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria(i,j)/ren_descarga;
                Potencia_red(i,j)=0;
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25;
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
                %Comprueba que no se ha gastado más de lo que podía
                if Gastar(j)<0
                    %Limita lo que se puede gastar para no quitar a
                    %la batería más de lo que puede dar
                    Variable=((-Gastar(j))*ren_descarga)/0.25;
                    Potencia_Bateria(i,j)=- (Potencia_Consumo_casa(i)-Variable);
                    Potencia_red(i,j)=Variable;
                    Potencia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria(i,j)/ren_descarga;
                    Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25;
                    Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
                    Gastar(j)=0;
                end
            end
        end
        Punta=Punta+1;
        if Punta==40
            x=x+1;
            Punta=0;
            Gastar(j)=Contador(j);
        end
    else
        if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);

```

```
%Carga de batería +
else
    Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
    Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))*ren_carga;
    Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
    Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
    Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
    if (Estado_bateria(i,j))>0
        Potencia_Bateria_SOC(i,j)=-Estado_bateria(i-1,j)/0.25; %
        Potencia_Bateria(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)/ren_carga;
        Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i)+Potencia_Bateria(i,j);
        Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
        Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
    end
end
Valle=Valle+1;

if Valle==56
    y=y+1;
    Valle=0;

end
end
end

%%Verano
Punta=0; %Datos punta
Valle=0; %Datos valle
x=0; %Contador Punta
y=0; %Contador Valle
for i=8257:29088
    if i<=8308
        if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);

            %Carga de batería +
            else
                Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))*ren_carga;
                Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
                if (Estado_bateria(i,j))>0
                    Potencia_Bateria_SOC(i,j)=-Estado_bateria(i-1,j)/0.25; %
                    Potencia_Bateria(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)/ren_carga;
                    Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i)+Potencia_Bateria(i,j);
                    Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                    Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
                end
            end
        end
    end
    if i>8308
        if x==y
            if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
                Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
                Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);

                %Carga de batería +
                else
                    Potencia_Bateria(i,j)=0;
                    Potencia_Bateria_SOC(i,j)=0;
                    Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i);
                    Energia_Bateria_SOC(i,j)=0; %Potencia pasado a Energía
                    Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j);
                    if Gastar(j)>0
                        Gastar(j)=Gastar(j)-((Potencia_Consumo_casa(i)*0.25)/ren_descarga);
                        Potencia_Bateria(i,j)=-Potencia_Consumo_casa(i);
                        Potencia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria(i,j)/ren_descarga;
                        Potencia_red(i,j)=0;
                        Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25;
                        Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
                    end
                end
            end
        end
    end
end
```



```

        if Gastar(j)<0

            Variable=((~Gastar(j))*ren_descarga)/0.25;
            Potencia_Bateria(i,j)=-(Potencia_Consumo_casa(i)-Variable);
            Potencia_red(i,j)=Variable;
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria(i,j)/ren_descarga;
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25;
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
            Gastar(j)=0;

        end

    end

    Punta=Punta+1;

    if Punta==40
        x=x+1;
        Punta=0;
        Gastar(j)=Contador(j);

    end

else
    if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
        Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
        Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
        Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
        Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
        Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);

        %Carga de batería +
        else
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))*ren_carga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
            if (Estado_bateria(i,j))>0
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=-Estado_bateria(i-1,j)/0.25; %
                Potencia_Bateria(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)/ren_carga;
                Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i)+Potencia_Bateria(i,j);
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
            end
        end
    end
    Valle=Valle+1;

    if Valle==56
        y=y+1;
        Valle=0;

    end
end
end
end

%%Invierno
Punta=0; %Datos punta
Valle=0; %Datos valle
x=0; %Contador Punta
y=0; %Contador Valle
for i=29089:length(Potencia_Consumo_casa)
    if i<=29136
        if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);

        else
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))*ren_carga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
            if (Estado_bateria(i,j))>0
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=-Estado_bateria(i-1,j)/0.25; %
                Potencia_Bateria(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)/ren_carga;
            end
        end
    end
end

```

```
Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i)+Potencia_Bateria(i,j);
Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
    end
end
if i>29136
    if x==y
        if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);

            %Carga de batería +
            else
                Potencia_Bateria(i,j)=0;
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=0;
                Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i);
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=0; %Potencia pasado a Energía
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j);
                if Gastar(j)>0
                    Gastar(j)=Gastar(j)-((Potencia_Consumo_casa(i)*0.25)/ren_descarga);
                    Potencia_Bateria(i,j)=-Potencia_Consumo_casa(i);
                    Potencia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria(i,j)/ren_descarga;
                    Potencia_red(i,j)=0;
                    Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25;
                    Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
                    if Gastar(j)<0
                        Variable=(-Gastar(j))*ren_descarga/0.25;
                        Potencia_Bateria(i,j)=-(Potencia_Consumo_casa(i)-Variable);
                        Potencia_red(i,j)=Variable;
                        Potencia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria(i,j)/ren_descarga;
                        Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25;
                        Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
                        Gastar(j)=0;
                    end
                end
            end
        end
        Punta=Punta+1;

        if Punta==40
            x=x+1;
            Punta=0;
            Gastar(j)=Contador(j);
        end
    else
        if Potencia_Consumo_casa(i)>Potencias_factibles(j)
            Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
            Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))/ren_descarga;
            Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
            Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
            Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);

            %Carga de batería +
            else
                Potencia_Bateria(i,j)=Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i);
                Potencia_Bateria_SOC(i,j)=(Potencias_factibles(j)-Potencia_Consumo_casa(i))*ren_carga;
                Potencia_red(i,j)=Potencias_factibles(j);
                Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
                if (Estado_bateria(i,j))>0
                    Potencia_Bateria_SOC(i,j)=-Estado_bateria(i-1,j)/0.25; %
                    Potencia_Bateria(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)/ren_carga;
                    Potencia_red(i,j)=Potencia_Consumo_casa(i)+Potencia_Bateria(i,j);
                    Energia_Bateria_SOC(i,j)=Potencia_Bateria_SOC(i,j)*0.25; %Potencia pasado a Energía
                    Estado_bateria(i,j)=Estado_bateria(i-1,j)+Energia_Bateria_SOC(i,j);
                end
            end
        end
        Valle=Valle+1;
        if Valle==56
            y=y+1;
            Valle=0;
        end
    end
end
```




```

        end
    end
end

end

%Energía que se consume de la red con el sistema de baterías
EnergiaTotalBaterias=sum(Potencia_red*0.25)

%% Rampa máxima que se dará en Wh
for j=1:length(Potencias_factibles)
    for i=2:length(Potencia_Consumo_casa)
        rampa(i,j)=Estado_bateria(i,j)-Estado_bateria(i-1,j); %En Wh
    end
end
Rampa=max(rampa);

%% Desfase energergético(SOC)
for j=2:length(Potencias_factibles)
    for i=1:(length(Potencia_Consumo_casa))
        desfasenergetico(i,j)=100-(((Estado_bateria(i,j))-ENERGIABATERIASFINAL(j))*100);
    end
end

%% Gráficos

figure
plot(Potencia_Consumo_casa)
title('Potencia consumo vivienda anual')
xlabel('Datos anuales (15 minutos)')
ylabel('Potencia (W)')
figure
plot(Potencia_red(:,2),'r')
hold on
plot(Potencia_Bateria(:,2),'g')
figure
plot(desfasenergetico(:,2))

%% Vida útil baterías

%Cálculo ciclos de baterías

ciclos2=0;
maximos2=min(desfasenergetico(:,2));
ciclos3=0;
maximos3=min(desfasenergetico(:,3));

for i=2:(length(desfasenergetico)-1)
    rampa=desfasenergetico(i-1,2)-desfasenergetico(i,2);
    rampa1=desfasenergetico(i,2)-desfasenergetico(i+1,2);
    if rampa>0
        if rampa1<0
            ciclos2=ciclos2+1;
            maximos2(end+1)=desfasenergetico(i,2);
        end
        if rampa1==0
            ciclos2=ciclos2+1;
            maximos2(end+1)=desfasenergetico(i,2);
        end
    end
end

for i=2:(length(desfasenergetico)-1)
    rampa=desfasenergetico(i-1,3)-desfasenergetico(i,3);
    rampa1=desfasenergetico(i,3)-desfasenergetico(i+1,3);
    if rampa>0
        if rampa1<0
            ciclos3=ciclos3+1;
            maximos3(end+1)=desfasenergetico(i,3);
        end
        if rampa1==0
            ciclos3=ciclos3+1;
            maximos3(end+1)=desfasenergetico(i,3);
        end
    end
end
end

```

```
%Histogramas de ciclos de baterías
x=1:1:100;
num=hist(maximos2,x);
figure
hist(maximos2,x)
hold on
xlabel('% DoD')
ylabel('Número de ciclos')
num=hist(maximos3,x);
figure
hist(maximos3,x)
hold on
xlabel('% DoD')
ylabel('Número de ciclos')
```

7.4 Cálculo de la factura eléctrica

```
%% Factura eléctrica sin discriminación horaria sistema inicial%%

load('FacturaComercializadorasSin')
%Impuesto de la electricidad
ImpuestoElectricidad=(4.864/100)*1.05113;

%%Factura eléctrica
for i=1:length(Potencias_factibles)
    for j=1:size(FacturaComercializadorasSin),2)
        %Cálculo Término de potencia
        TerminoPotenciaSin(j)=(Potenciafacturasinbateria/1000)*FacturaComercializadorasSin(1,j);
        %Cálculo Término de energía
        TerminoEnergiaSin(j)=(EnergiaTotal/1000)*FacturaComercializadorasSin(2,j);
        %Suma de los dos términos
        FacturaSinDiscriminacion(j)=TerminoPotenciaSin(j)+TerminoEnergiaSin(j);
        %Factura con IVA y impuesto de la electricidad incluido

FacturaSinDiscriminacion(j)=(FacturaSinDiscriminacion(j)+FacturaSinDiscriminacion(j)*ImpuestoElectricidad)+(
FacturaSinDiscriminacion(j)+FacturaSinDiscriminacion(j)*ImpuestoElectricidad)*0.21);

    end
end

%% Factura eléctrica con discriminación horaria sistema inicial

%%Invierno(último domingo octubre-último domingo marzo)
load('FacturaComercializadoras');
x=1; %Contador Punta
y=1; %Contador Valle
Punta=1; %Datos Punta
Valle=0; %Datos Valle
EnergiaInvierno(1)=0;

%Día 1-86
for i=2:8256
    EnergiaInvierno(i)=Energia_Consumo_Casa(i);
    %Primeras horas valle de invierno
    if i<=48
        EnergiaInviernoValle(i)=EnergiaInvierno(i);
    end
    %Comienzo horas punta
    if i==49
        EnergiaInviernoPunta(1)=EnergiaInvierno(49);
    end
    %Días enteros
    if i>49
        if x==y
            EnergiaInviernoPunta(end+1)=EnergiaInvierno(i);
            Punta=Punta+1;
            %40 datos diarios de punta(10h)
            if Punta==40
                x=x+1;
                Punta=0;
            end
        else
            else
```



```

        EnergiaInviernoValle(end+1)=EnergiaInvierno(i);
        Valle=Valle+1;
        %56 datos diarios de valle(14h)
        if Valle==56
            y=y+1;
            Valle=0;
        end
    end
end

x=1;    %Contador Punta
y=1;    %Contador Valle
Punta=0;    %Datos Punta
Valle=0;    %Datos Valle

%Días 303-365
for i=29089:length(Energia_Consumo_Casa)
    EnergiaInvierno(end+1)=Energia_Consumo_Casa(i);
    %Primeras horas valle
    if i<=29136;
        EnergiaInviernoValle(end+1)=EnergiaInvierno(end);
    end
    %Días enteros
    if i>29136
        if x==y
            EnergiaInviernoPunta(end+1)=EnergiaInvierno(end);
            Punta=Punta+1;
            %40 datos diarios de punta(10h)
            if Punta==40
                x=x+1;
                Punta=0;
            end
        else
            EnergiaInviernoValle(end+1)=EnergiaInvierno(end);
            Valle=Valle+1;
            %56 datos diarios de valle(14h)
            if Valle==56
                y=y+1;
                Valle=0;
            end
        end
    end
end
end

%%Verano(último domingo marzo-último domingo octubre)
EnergiaVerano(1)=Energia_Consumo_Casa(8257);
EnergiaVeranoValle(1)=EnergiaVerano(1);
x=1;    %Contador Punta
y=1;    %Contador Valle
Punta=1;    %Datos Punta
Valle=0;    %Datos Valle

%Días 87-302
for i=8258:29088
    EnergiaVerano(end+1)=Energia_Consumo_Casa(i);
    %Primeras horas valle
    if i<=8310
        EnergiaVeranoValle(end+1)=EnergiaVerano(end);
    end
    %Comienzo horas punta
    if i==8311
        EnergiaVeranoPunta(1)=EnergiaVerano(end);
    end
    %Días enteros
    if i>8311
        if x==y
            EnergiaVeranoPunta(end+1)=EnergiaVerano(end);
            Punta=Punta+1;
            %40 datos diarios de punta(10h)
            if Punta==40
                x=x+1;
                Punta=0;
            end
        else
            EnergiaVeranoValle(end+1)=EnergiaVerano(end);
            Valle=Valle+1;
            %56 datos diarios de punta(14h)
            if Valle==56

```

```
        y=y+1;
        Valle=0;
    end
end
end
end

%%Sumas de energía en horas valle y punta
TotalEnergiaInviernoValle=sum(EnergiaInviernoValle);
TotalEnergiaInviernoPunta=sum(EnergiaInviernoPunta);
TotalEnergiaVeranoValle=sum(EnergiaVeranoValle);
TotalEnergiaVeranoPunta=sum(EnergiaVeranoPunta);
TotalEnergiaValle=TotalEnergiaInviernoValle+TotalEnergiaVeranoValle;
TotalEnergiaPunta=TotalEnergiaInviernoPunta+TotalEnergiaVeranoPunta;

%%Factura eléctrica
for i=1:length(Potencias_factibles)
    for j=1:size( (FacturaComercializadoras),2)
        %Cálculo Término de potencia
        TerminoPotenciaDiscriminacion(j)=(Potenciafacturasinbateria/1000)*FacturaComercializadoras(1,j);
        %Cálculo Término de energía horas valle
        TerminoEnergiaValle(j)=(TotalEnergiaValle/1000)*FacturaComercializadoras(2,j);
        %Cálculo Término de energía horas punta
        TerminoEnergiaPunta(j)=(TotalEnergiaPunta/1000)*FacturaComercializadoras(3,j);
        %Suma de los tres términos

FacturaDiscriminacion(j)=TerminoPotenciaDiscriminacion(j)+TerminoEnergiaValle(j)+TerminoEnergiaPunta(j);
        %Factura con IVA y impuesto de la electricidad incluido

FacturaDiscriminacion(j)=(FacturaDiscriminacion(j)+FacturaDiscriminacion(j)*ImpuestoElectricidad)+( (FacturaDiscriminacion(j)+FacturaDiscriminacion(j)*ImpuestoElectricidad)*0.21);
    end
end

%% Factura eléctrica sin discriminación horaria sistema baterías

%%Cálculo energía consumida de la red con el sistema de baterías
for j=1:length(Potencias_factibles)
    EnergiaTotalBateria(:,j)=(Potencia_red(:,j)*0.25);
    suma(1,j)=sum(EnergiaTotalBateria(:,j));
end
%%Factura eléctrica
for i=1:length(Potencias_factibles)
    for j=1:size( (FacturaComercializadorasSin),2)
        %Cálculo Término de potencia
        TerminoPotenciaSinBateria(i,j)=(Potencias_factibles(i)/1000)*FacturaComercializadorasSin(1,j);
        %Cálculo Término de energía
        TerminoEnergiaSinBateria(i,j)=(suma(1,i)/1000)*FacturaComercializadorasSin(2,j);
        %Suma de los dos términos
        FacturaSinDiscriminacionBateria(i,j)=TerminoPotenciaSinBateria(i,j)+TerminoEnergiaSinBateria(i,j);
        %Factura con IVA y impuesto de la electricidad incluido

FacturaSinDiscriminacionBateria(i,j)=(FacturaSinDiscriminacionBateria(i,j)+FacturaSinDiscriminacionBateria(i,j)*ImpuestoElectricidad)+( (FacturaSinDiscriminacionBateria(i,j)+FacturaSinDiscriminacionBateria(i,j)*ImpuestoElectricidad)*0.21);
        %Ahorro si se contrata tarifa sin discriminación(sistema propuesto) teniendo en el sistema inicial sin discriminación
        AhorroSinDiscriminacion(i,j)=-(FacturaSinDiscriminacionBateria(i,j)-FacturaSinDiscriminacion(j));
    end
end

%% Factura eléctrica con discriminación horaria sistema baterías

%%Cálculo energía consumida de la red con el sistema de baterías
for j=1:length(Potencias_factibles)
    EnergiaTotalBateria(:,j)=(Potencia_red(:,j)*0.25);
    suma(1,j)=sum(EnergiaTotalBateria(:,j));
end

for j=1:length(Potencias_factibles)
    x=1; %Contador Punta
    y=1; %Contador Valle
    Punta=1; %Datos Punta
    Valle=0; %Datos Valle

%%Invierno(último domingo octubre-último domingo marzo)
    for i=1:8256
        EnergiaInviernoBateria(i,j)=EnergiaTotalBateria(i,j);
```



```
if i<=48
    EnergiaInviernoValleBateria(i,j)=EnergiaInviernoBateria(i,j);
end
if i==49
    EnergiaInviernoPuntaBateria(1,j)=EnergiaInviernoBateria(49,j);
end
if i>49
    if x==y
        EnergiaInviernoPuntaBateria(end+1,j)=EnergiaInviernoBateria(i,j);
        Punta=Punta+1;
        if Punta==40
            x=x+1;
            Punta=0;
        end
    else
        EnergiaInviernoValleBateria(end+1,j)=EnergiaInviernoBateria(i,j);
        Valle=Valle+1;
        if Valle==56
            y=y+1;
            Valle=0;
        end
    end
end
end

x=1;    %Contador Punta
y=1;    %Contador Valle
Punta=0;    %Datos Punta
Valle=0;    %Datos Valle
for i=29089:length(EnergiaTotalBateria)
    EnergiaInviernoBateria(end+1,j)=EnergiaTotalBateria(i,j);
    if i<=29136;
        EnergiaInviernoValleBateria(end+1,j)=EnergiaInviernoBateria(end,j);
    end
    if i>29136
        if x==y
            EnergiaInviernoPuntaBateria(end+1,j)=EnergiaInviernoBateria(end,j);
            Punta=Punta+1;
            if Punta==40
                x=x+1;
                Punta=0;
            end
        else
            EnergiaInviernoValleBateria(end+1,j)=EnergiaInviernoBateria(end,j);
            Valle=Valle+1;
            if Valle==56
                y=y+1;
                Valle=0;
            end
        end
    end
end
end

%%Verano(último domingo marzo-último domingo octubre)
EnergiaVeranoBateria(1,1)=EnergiaTotalBateria(8257,1);
EnergiaVeranoBateria(1,2)=EnergiaTotalBateria(8257,2);
EnergiaVeranoBateria(1,3)=EnergiaTotalBateria(8257,3);
EnergiaVeranoValleBateria(1,1)=EnergiaVeranoBateria(1,1);
EnergiaVeranoValleBateria(1,2)=EnergiaVeranoBateria(1,2);
EnergiaVeranoValleBateria(1,3)=EnergiaVeranoBateria(1,3);
x=1;    %Contador Punta
y=1;    %Contador Valle
Punta=1;    %Datos Punta
Valle=0;    %Datos Valle
for i=8258:29088
    EnergiaVeranoBateria(end+1,j)=EnergiaTotalBateria(i,j);
    if i<=8310
        EnergiaVeranoValleBateria(end+1,j)=EnergiaVeranoBateria(end,j);
    end
    if i==8311
        EnergiaVeranoPuntaBateria(1,j)=EnergiaVeranoBateria(end,j);
    end
    if i>8311
        if x==y
            EnergiaVeranoPuntaBateria(end+1,j)=EnergiaVeranoBateria(end,j);
            Punta=Punta+1;
            if Punta==40
                x=x+1;
                Punta=0;
            end
        end
    end
end
```

```
else
    EnergiaVeranoValleBateria(end+1,j)=EnergiaVeranoBateria(end,j);
    Valle=Valle+1;
    if Valle==56
        y=y+1;
        Valle=0;
    end
end
end
end

%%Sumas de energía en horas valle y punta
for j=1:length(Potencias_factibles)
    TotalEnergiaInviernoValleBateria(1,j)=sum(EnergiaInviernoValleBateria(:,j));
    TotalEnergiaInviernoPuntaBateria(1,j)=sum(EnergiaInviernoPuntaBateria(:,j));
    TotalEnergiaVeranoValleBateria(1,j)=sum(EnergiaVeranoValleBateria(:,j));
    TotalEnergiaVeranoPuntaBateria(1,j)=sum(EnergiaVeranoPuntaBateria(:,j));
    TotalEnergiaValleBateria(1,j)=TotalEnergiaInviernoValleBateria(1,j)+TotalEnergiaVeranoValleBateria(1,j);
    TotalEnergiaPuntaBateria(1,j)=TotalEnergiaInviernoPuntaBateria(1,j)+TotalEnergiaVeranoPuntaBateria(1,j);
end

%%Factura eléctrica
for i=1:length(Potencias_factibles)
    for j=1:size((FacturaComercializadoras),2)
        %Cálculo Término de potencia
        TerminoPotenciaDiscriminacionBateria(i,j)=(Potencias_factibles(i)/(1000*1.1))*FacturaComercializadoras(1,j);
        %Cálculo Término de energía horas valle
        TerminoEnergiaValleBateria(i,j)=(TotalEnergiaValleBateria(1,i)/1000)*FacturaComercializadoras(2,j);
        %Cálculo Término de energía horas punta
        TerminoEnergiaPuntaBateria(i,j)=(TotalEnergiaPuntaBateria(1,i)/1000)*FacturaComercializadoras(3,j);
        %%Suma de los tres términos
        FacturaDiscriminacionBateria(i,j)=TerminoPotenciaDiscriminacionBateria(i,j)+TerminoEnergiaValleBateria(i,j)+TerminoEnergiaPuntaBateria(i,j);
        %Factura con IVA y impuesto de la electricidad incluido
        FacturaDiscriminacionBateria(i,j)=(FacturaDiscriminacionBateria(i,j)+FacturaDiscriminacionBateria(i,j)*ImpuestoElectricidad)+(FacturaDiscriminacionBateria(i,j)+FacturaDiscriminacionBateria(i,j)*ImpuestoElectricidad)*0.21);
        %Ahorro si se contrata tarifa con discriminación(sistema propuesto) teniendo en el sistema inicial con discriminación
        AhorroDis(i,j)=-(FacturaDiscriminacionBateria(i,j)-FacturaDiscriminacion(1,j));
    end
end

%%Ahorro si se contrata tarifa con discriminación (sistema propuesto) teniendo en el sistema inicial sin discriminación
for i=1:length(Potencias_factibles)
    for j=1:size((FacturaComercializadoras),2)
        AHORROFINAL(i,j)=FacturaSinDiscriminacion(j)-FacturaDiscriminacionBateria(i,j);
    end
end
```